

대류억제구조벽체에서 대류열전달과 축열특성

김 룡 운

태양열온실에서 작물재배환경 특히 온실온도와동을 완화하는것은 온실재배작물의 수확고와 품질을 높이기 위한 중요한 문제이다.

논문에서는 축열벽체식태양온실에서 축열성능을 높이기 위하여 벽결면에 대류억제구조를 형성하고 벽체의 대류열전달특성과 축열특성을 해석하였다.

1. 대류억제구조벽체결면에서 대류열전달특성

대류억제구조에서 기본은 대류에 의한 류체의 흐름길에 장애물을 조성하는 방법으로 흐름을 억제시킴으로써 대류가 잘 일어나지 않게 하여 열손실을 줄이는것이다.[2, 3]

그림 1과 같은 형태의 대류억제구조에서 뉴셀트수는 다음과 같은 실험식으로 표시된다.[3]

$$Nu = \max(1.1C_1C_2Ra_L^{0.28}, 1) \quad (1)$$

여기서 C_1 , C_2 는 각각 대류억제구조의 모양과 지면과의 각에 따라 결정되는 상수값, Ra_L 은 평판사이의 너비에 따라 결정되는 레일레이수이다.

대류억제구조의 모양은 형태비($A=H/L$)로 결정한다.

형태비와 경사각에 따르는 C_1 과 C_2 의 변화는 그림 2와 같다.

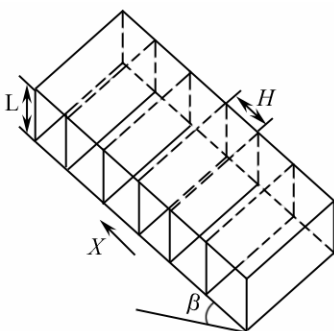


그림 1. 대류억제구조의 형태
 H - 높이, L - 너비, β - 경사각

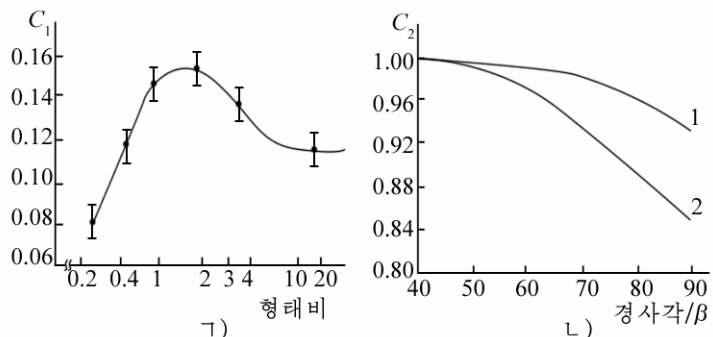


그림 2. 형태비와 경사각에 따르는 $C_1(\gamma)$ 과 $C_2(L)$ 의 변화
1, 2는 형태비가 $0.25 < A < 4$, $9 < A < 30$ 인 경우

그림 2에서 보는바와 같이 C_1 과 C_2 는 형태비에 관계된다. 형태비가 2인 근방에서 C_1 은 최대값을 가지며 C_2 는 주어진 형태비값에서 경사각이 클수록 작아진다.

경사각이 90° 인 경우에 뉴셀트수는 $Nu = 1 + \frac{10^{-4}(H/L)^{4.65}}{1 + 5(H/W)^4} Ra^{1/3}$ 이다.

논문에서는 작업대상이 공기이므로 공기의 레일레이수를 결정하고 제기한 대류억제구조에 따르는 열전달계수를 구하였다.

일반적으로 레일리수[1]는 $Ra = g\beta'\Delta TL^3/(v\alpha)$ 이다. $Pr = \nu/\alpha$ 를 고려하면 레일리수는 $Ra = g\beta'\Delta TL^3 Pr/\nu^2$ 이다. 여기서 g , β , L 은 각각 중력가속도, 유체의 열팽창계수, 두 평판사이의 간격이며 ΔT 는 평판들사이의 온도차, ν 는 운동학적점성계수이다.

대류억제구조에서 태양복사모형은 그림 3과 같다.

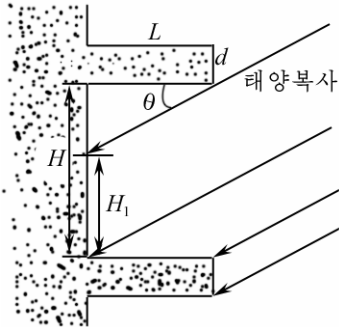


그림 3. 대류억제구조에서 태양복사모형

그림 3에서 보는바와 같이 대류억제구조의 안벽체에 들어오는 태양복사는 억제구조에 의하여 일부가 차단된다. 그러므로 복사를 최대한 받으면서도 대류열손실효과를 최대한 줄일수 있는 합리적인 형태비를 결정하는것이 중요한 문제로 나선다.

실지 대류억제구조의 벽체에 들어오는 태양복사는 단순벽체에 비해볼 때 H_1/H 로 줄어들게 된다. L 이 10~20cm인 경우 H_1/H 값이 0.7~0.85 사이에 있을 때의 형태비가 가장 합리적이었다. 따라서 뉴셀트수는 다음과 같다.

$$Nu = 1 + \frac{10^{-4} (H/L)^{4.65}}{1 + 5(H/W)^4} Ra^{1/3} = \frac{\alpha_{\text{벽}} l_{0\text{벽}}}{\lambda_{\text{벽}}} \quad (2)$$

여기서 l_0 은 특성길이, 형태비가 1.25~5에서 변할 때 대류억제구조벽체의 대류열전달계수 값은 $1.6 \leq \alpha_{\text{벽}} \leq 3.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 범위에 있다.

2. 대류억제구조벽체의 축열특성에 대한 계산결과 및 분석

주기적으로 변하는 온도마당속에서 고체벽의 열전도특성방정식과 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial T(t, x)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T(t, x)}{\partial x^2} \quad (3)$$

$$\alpha_1(T_{f1} - T(t, 0)) + \tau\alpha l(t) - \alpha_r(T(t, 0) - T_c) = -\lambda \frac{\partial T(t, x)}{\partial x} \Big|_{x=0}$$

$$\alpha_2(T(t, \delta) - T_{f2}) = -\lambda \frac{\partial T(t, x)}{\partial x} \Big|_{x=\delta}, \quad T(0, x) = T_0$$

여기서 α_1 , α_2 는 대류열전달계수이고 $\tau\alpha$ 는 투과흡수적이며 α_r 는 복사열전달계수, a , λ 는 온도전도도와 열전도도이다.

벽체가 유한두께일 때 벽체내부에서의 온도마당은 벽체의 두께와 벽체결면의 특성, 주변대기의 온도, 태양복사세기의 시간적변화에 따라 각이하게 변한다. 벽체바깥에서의 대기의 온도변화와 태양복사가 시간에 따라 주기적으로 변하므로 벽체결면의 경계조건을 주기적으로 변하는 삼각함수형태로 설정하고 방정식의 풀이를 해석적으로 결정한다.

식 (3)의 일반풀이는 다음과 같다.

$$T(x, t) = e^{i\omega t} [\text{Ash}(\mu x) + \text{Bch}(\mu x)] \quad (4)$$

여기서 $\mu = \sqrt{i\omega/a} = \sqrt{\omega/(2a)}(1+i)$ 이다.

논문에서는 MATLAB를 리용하여 각이한 대류열전달계수에서 벽체의 온도마당특성을 고찰하였다.

대류열전달계수의 변화에 따르는 벽체의 온도마당분포는 그림 4와 같다.

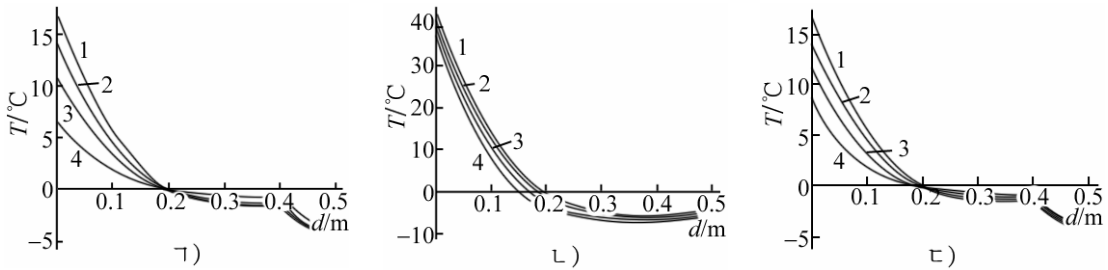


그림 4. 대류열전달계수의 변화에 따르는 벽체의 온도마당분포
 a)~c)는 각각 9, 12, 16h에 측정한 결과, 1~4는 α 가 각각 2, 4, 6, 8 W/(m²·°C)인 경우

그림 4에서 보는바와 같이 벽체겉면의 기하학적형태에 따라서 대류열전달계수들이 달라지므로 벽체내부에서의 축열특성도 차이나게 된다. 또한 태양복사가 큰 낮에는 대류열전달효과가 뚜렷하지 않으며 태양복사가 없거나 작을 때 효과가 잘 나타난다.

따라서 대류억제구조벽체인 경우에는 단순벽체보다 축열효과가 더 크며 축열량은 형태비에 관계된다.

맺는 말

축열벽체식태양온실에서 축열성능을 높이기 위하여 벽겉면에 대류억제구조를 형성하고 이때 벽체의 대류열교환특성과 축열특성을 모의해석하였다. 형태비가 1.25~5에서 변할 때 대류억제구조벽체의 대류열전달계수는 $1.6 \leq \alpha_w \leq 3.4 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$ 범위에 있으며 벽체의 축열량은 형태비에 의존한다.

참고 문헌

- [1] 강영환 등; 태양열동력학, 김일성종합대학출판사, 129~140, 주체91(2002).
- [2] J. A. Duffie et al.; Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, 232~243, 2006.
- [3] B. Tanwanichkul et al.; Energy Conversion and Management, 74, 511, 2013.

주체106(2017)년 9월 5일 원고접수

On Character of Convection Heat Transfer and Heat Accumulation in the Convective Restraint Structure Wall

Kim Ryong Un

We made the convective restraint structure on the wall surface to improve heat accumulation in solar heat greenhouse. Also we simulated and analyzed the character of convection heat transfer and heat accumulation of wall. It was proved that in the range of form ratio of 1.25~5 the convection heat transfer coefficient was in the range of $1.6 \leq \alpha_w \leq 3.4 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$ and heat accumulations of wall depended on form ratio.

Key words: heat accumulation, convective restraint structure