

部分的으로 加熱되는 平板熱交換器의 熱傳達解析

강 신 형* · 배 순 훈*

The Constriction Resistance in Partially Heated Channel Plate Heat Exchangers

Shin-Hyoung Kang · Soonhoon Bae

Abstract

The constriction thermal resistance due to the floor supports in the Ondol floor heating system was investigated. The resistance has significant influence on the uniformity of floor surface temperature and heat flux through the floor. The heat flux decreased as much as 30% for the geometry of the same channel and support areas.

序 論

平板熱交換器 또는 熱傳達 實驗 裝置에서 흔히 한쪽 面은 對流에 依한 冷却이 일어나고 다른 面에서는 띠(strip)모양의 加熱帶와 斷熱帶가 교대로 설치되어 있는 경우가 많다. 이때에 表面 溫度의 均一性이 문제이고 熱傳達量을 豫測하여야 하는 경우가 많이 있다. 境界條件에 따라 다르긴 하지만 대부분의 경우에 解析的인 解는 없고 數值的으로 計算한다고 하여도 매우 複雜한 結果를 얻게 된다.

여지껏 文獻에 發表된 解析的인 解法중에서 重

要한 것은 J. H. Van Sant⁽¹⁾의 平板에서 加熱帶와 絕緣帶가 交代로 있을 때 一定한 熱傳達率 條件에 대한 解, R. A. Schmitz⁽²⁾의 같은 경우 一定한 溫度條件에 대한 解, H. Q. Oliveria⁽³⁾의 加熱이 對流에 依한 경우 對流熱傳達係數가 一定하다는 條件에 대한 解 등이 있으나 이런 解析的인 解도 無限級數로 表示되기 때문에 數值解를 얻고자 할 때는 電算機를 利用하였다. 本論文에서는 좀더 複雜한 경우를 有限差分法으로 直接 數值解를 求하였다.

우리나라 固有의 暖房法인 溫突의 줄고래(線型인 경우는 위에서 말한 일종의 strip heating 이

< 記 號 說 明 >

a 고래 幅의 절반 m
 b 고래와 支持臺 全體幅의 절반 m
 H 고래의 높이 m
 h_i 고래안에서 對流熱傳達係數 Kcal/hr m² °C
 h_o 방안에서 對流熱傳達係數 Kcal/hr m² °C
 k 구를장의 熱傳導度 Kcal/hr m °C
 Q 단위 길이당 熱傳達率 Kcal/hr m²/m
 Q_m 均一하게 加熱될때 단위 길이당 熱傳達率 Kcal/hr m²/m

R_c constriction 熱抵抗 1/Kcal/hr m² °C/m
 $R_{i,h}$ 熱傳導抵抗 1/Kcal/hr m² °C/m
 T 溫度 °C
 T_i 고래안의 燃焼가스溫度 °C
 T_o 방안의 溫度 °C
 $T_{d,s}$ 고래안에서 平均表面溫度 °C
 $T_{d,b}$ 방바닥의 平均表面溫度 °C
 U 全體熱傳達係數 Kcal/hr m² °C
 U_m 平板을 통한 熱傳達係數 Kcal/hr m² °C

* 韓國科學院

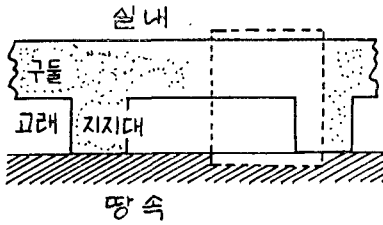


그림 1 온돌의 流動路

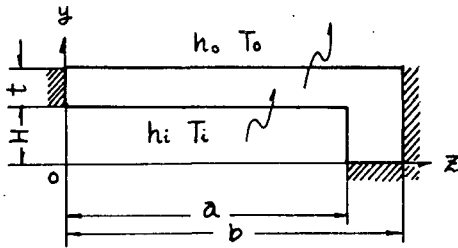


그림 2 열전달 모델

라고 볼 수 있는데 이때의 溫突房 바닥의 溫度의 均一性을 解析하기 위하여는 위의 平板熱交換器의 비슷하게 풀어나가야 한다.

여기서는 2次元 解析을 하고 數值解法으로 電算機를 使用하여 特殊한 條件에서 數值解를 얻어 圖表로 나타내었다.

理論的인 모델

溫突에서 줄고래의 단면은 그림 1과 같이 圖式的으로 表示할 수 있는데 여기서 점선부분을 따로 분리하여 考慮하면 對稱性에 依하여 그림 2와 같은 熱傳達 解析 모델을 만들 수 있다. 여기서 房表面에서는 一定한 熱傳達係數 h_o 로 對流熱傳達이 일어나고 煙道內에서도 一定한 熱傳達係數 h_i 로 燃燒가스에 依하여 加熱된다고 假定하고 가스의 流動方向의 熱傳達을 考慮하지 않았다. 땅속으로의 熱傳導는 無視하고 絕緣되었다고 假定하였다.

理論的인 解析

正常狀態의 熱傳導 微分方程式은

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

境界條件은

$$z=0, H \leq y \leq (H+t) \quad \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = 0 \quad (2)$$

$$z=a, 0 \leq y \leq H \quad \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=a} = -\frac{h_i}{k} (T_i - T) \quad (3)$$

$$z=b, 0 < y < (H+t) \quad \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=b} = 0 \quad (4)$$

$$y=0, a < z < b \quad \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \quad (5)$$

$$y=H, 0 < z < a \quad \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=H} = \frac{h_i}{k} (T_i - T) \quad (6)$$

$$y=(H+t), 0 < z < b \quad \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=(H+t)} = \frac{h_o}{k} (T_o - T) \quad (7)$$

위의 微分方程式과 境界條件은 解析的으로 答을 구하기 힘들므로 數值解를 求하기로 한다. $5 \times 10\text{cm}$ 정도의 要素에서는 溫度의 變化가 심하지 않을 것이 기대되기 때문에 이런 크기의 要素로 나누고 微分 方程式을 有限差分法으로 線型方程式으로 고친 다음 Gauss-Seidal 反覆方法으로 풀었다. 오차는 0.01%로 정했다.

房表面의 平均溫度 T_{us} 는

$$T_{us} = \frac{1}{b} \int_0^b T(H+t, z) dz \quad (8)$$

아래 고래의 表面에서의 平均溫度 T_{ds} 는

$$T_{ds} = \frac{1}{a} \int_0^a T(0, z) dz + \frac{1}{H} \int_0^H T(y, a) dy \quad (9)$$

가 된다. 이때 全熱束 Q 는

$$Q = \int_0^b h_o (T(H+t, z) - T_o) dz \quad (10)$$

이고 全熱傳達係數 V 는

$$V = Q/b(T_i - T_o) \quad (11)$$

가 된다. 그중에서 構造熱抵抗 (constriction resistance)를 R_c 라고 놓으면

$$\frac{1}{V_b} = \frac{1}{h_o b} + R_c + \frac{1}{h_i(a+H)} \quad (12)$$

따라서

$$R_c = \frac{1}{V_b} - \frac{1}{h_o b} - \frac{1}{h_i(a+H)} \quad (13)$$

만약에 $(b-a)$ 部分에 지지대가 없이 고래가 구들의 폭 b 全域에 걸쳐 있다고 생각하면 이때 구들의 傳導熱抵抗은

$$R_{ia} = \frac{t}{kb} \quad (14)$$

이다. 여기서 熱抵抗은 단위 길이(x 方向)당 단위 溫度差에 依하여 생기는 熱傳達率이다. constriction 抵抗과 보통 熱傳導抵抗의 比를 $C_{CHF} \equiv R_c / R_b$ 로 표시하고 이 때의 熱束의 比는 $Q/Q_m = V/V_m$ 으로 나타낸다. 여기서 V_m 은 지지대가 없이 고래가 全幅 b 에 걸쳐 있다고 생각되는 단순한 熱傳達 形狀의 全熱傳達係數로

$$\frac{1}{V_m} = \frac{1}{h_o} + \frac{t}{k} + \frac{1}{h_i} \quad (15)$$

이다. 房바닥의 溫度分布를 表示하는 變數는 방바

닥의 最高溫度點인 $z=0$ 點과 最低溫度點인 $z=b$ 點의 溫度差를 溫度差 ($T_i - T_o$) 로 나눈 것을 使用하는 것이 좋다.

結果의 檢討

代表的인 溫突의 幾何學的인 形狀을 代入하여 幾何學的인 變化에 따라 熱傳達의 變化를 그림 3, 에 표시하였다. 여기서 一定하게 固定한 變數의 값은 표 1에 나열하였다.

표 1. 數值計算條件

기 하 적 형 법		열 전 달 계 수		온 도
폭 b	1m	방 안	5Kcal/m ² hr°C	방 안 0°C
구들장두께 t	0.1m	고 래	5Kcal/m ² hr°C	고 래 100°C
고래높이 H	0.15m	구들장열전로로	1.0Kcal/mhr°C	

그림 3에서 지지대의 폭이 고래의 폭과 같을 때 constriction 抵抗은 약 2배가 되는 것을 쉽게 알 수 있다. 따라서 허튼고래(散고래)와 줄고래

(線型고래)에서 고래의 支持臺 때문에 생기는 constriction 抵抗의 크기는 현저하게 달라지는 것을 알 수 있다. 그림 3의 熱傳達量의 比는 房

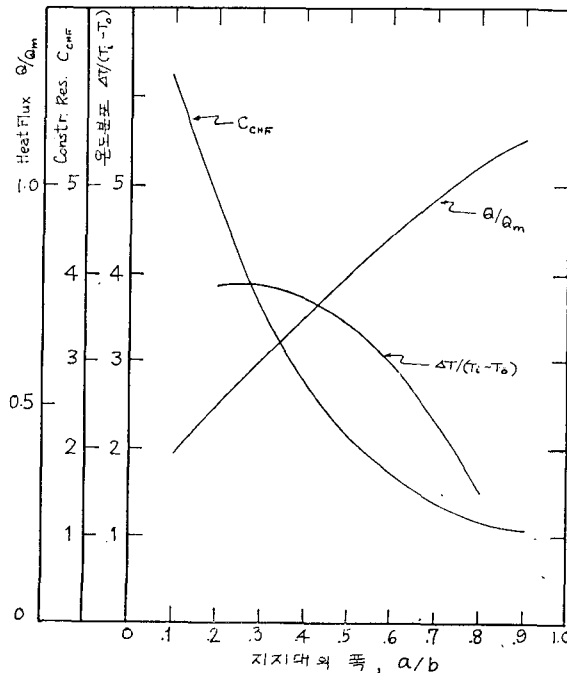


그림 3. 지지대의 두께에 따른 Constriction 抵抗의 變化

内部와 고래인의 對流熱傳達係數가 比較的 크기 때문에 熱傳達率은 constriction 抵抗에 크게 影響을 받아 (a/b) 에 따라서 거의 線型的으로 變化함을 알 수 있다. 支持臺의 幅이 고래의 幅과 같을 때는 熱傳達率은 약 30%나 減少하게 된다. 같은 點 $(a/b)=0.5$ 에서 고래 中央의 點 $z=0$ 와 支持臺 中央의 點 $z=b$ 에서 溫度差異는 고래와 방안의 溫度差의 30%나 되므로 溫度가 현저히 不均一하다.

結 論

溫突에서 燃燒가스가 줄고래를 통해 들어 갈 때 房바닥의 溫度分布와 熱傳達率을 計算한 結果 고래의 幅이 支技臺(고래사이의 간격)幅과 같을 때는 房바닥 溫度는 현저하게 不均一하고 熱傳達率은 30% 減少한다.

本 研究에서 作成한 computer program 은 部分的으로 加熱되는 熱交換器에 適用할 수 있는 一般性이 있다.

參 考 文 獻

1. J.H. Van Sant, "Temperature Variation on the Surface of a Strip-Heated Flat Plate", ASME Trans. Series C Vol. 89, No.4, 1967, p.372
2. R.A. Schmitz, "Heat Flux through a Strip-Heated Flat Plate", ASME Trans. Series C, Vol. 92, No. 1, 1970, p.201
3. H.Q. Oliveria and R.F. Forslund, "The Effect of Thermal constriction Resistance in the Design of Channel Plate Heat Exchangers," ASME Trans. Series C, Vol. 96, No.3 1974, p.292