

<論 文>

等溫-擴散 等邊사다리꼴 홈 Cavity의 輻射放射率 特性에 관한 研究

朴 喜 鎔* · 李 丞 浩**

(1983年 5月 6日 接受)

A Study on the Radiant Emission Characteristics of Isothermal and Diffuse Equi-lateral Trapezoid Groove Cavity

Hi Yong Pak and Seung Ho Lee

Abstract

The purpose of this study is to investigate the radiant emission characteristics of diffuse equi-lateral trapezoid groove cavity for the case of uniform surface temperature. The theoretically developed results for the apparent emissivity are presented and the values of apparent emissivity for the trapezoid groove cavity were compared with those of the V-groove cavity.

In the experimental part of this study, the test models were manufactured from 100x 100x 15mm copper plates on which the equi-lateral trapezoid cavities were grooved. The inclined angles of the groove were 30, 45 and 60 degrees and the ratio of groove depth to base surface width varied from 1 to 5 for each inclined angle.

As a result of this work, it was found that the trapezoid groove cavity was more general form of V-groove and the apparent emissivity of trapezoid groove cavity was greater than that of V-groove cavity. The resulting equation for the apparent emissivity in the trapezoid groove cavity was valid for the angles greater than 40 degrees.

記 號 說 明

A : 表面積
 B : 式 (13)의 常數
 E : 輻射에너지
 F : 形狀係數
 H : 單位時間, 單位面積當 入射에너지
 h : 홈의 基底面の 幅
 J : 래디오시티
 L : 사다리꼴 홈의 깊이
 Q : 홈의 開口로부터의 總熱損失
 q : 홈의 開口로부터의 單位面積當 熱損失

T : 表面의 絕對溫度
 ΔT : 絕對溫도의 差
 V : 電壓差
 α : 吸收率
 ϵ : 放射率
 ϵ_a : 홈의 假想放射率
 θ : 사다리꼴 홈의 傾斜角
 ρ : 反射率
 σ : Stefan-Boltzmann 常數
 τ : 時間

* 正會員, 漢陽大學校 工科學

** 正會員, 曉星重工業

下添字

a : 試驗平板

e : 周圍
 i, j : 任意表面
 I : 標準平板
 W : 壁

1. 緒 論

封合體(enclosure)나 cavity의 熱輻射放射率은, 黑體의 設計에 實際 適用되는 중요한 因子로 많은 學者들에 의하여 오랫동안 研究가 修行되어 왔다. 이러한 理由는 cavity가 輻射에너지源으로서 平面의 경우보다 상당히 높은 放射力을 가지기 때문인데 이 特性을 cavity效果라고 부른다. 이 cavity效果는 熱線(또는 光線)이 cavity를 빠져나오기 전에 cavity壁面에서 여러번 反射되므로 인하여 發生된다.

Sparrow와 Gregg¹⁾은 等溫, 擴散表面, 灰體의 사각형 홈 cavity의 放射率特性을 假想放射率(또는 겉보기 放射率, apparent emissivity)의 項으로 나타냈는데 이를 表面의 放射率과 局所熱束 및 溫度의 函數로 표시하였다.

Sparrow와 Johnson²⁾은 사각형 홈 Cavity의 吸收率特性에 대하여 研究하였는 바, 等溫·擴散에너지, 擴散反射表面의 경우의 結果는 참고문헌 [1]과 같았다.

Sparrow와 Lin³⁾은 V형 홈 cavity의 吸收率 特性에 대하여 참고문헌 [2]와 동일한 경우를 고려하여 假想放射率을 表面의 吸收率과 表面의 길이 및 홈의 傾斜角의 函數로 표시하였다.

Sparrow等⁴⁾은 유한길이의 원통형 구멍의 cavity를 等溫·灰體·擴散表面으로 된 구멍으로 假定하여 研究하였는데 假想放射率을 구멍의 깊이와 基底面의 지름의 比의 函數로 표시 하였으며 이를 數值的으로 求하였다.

Sparrow와 Johnson^{5),6)}은 여러가지 크기의 원추형 cavity와 球形 cavity에 대하여 研究하여 熱輻射放射率과 吸收率을 수치적으로 계산하였다.

本 論文에서는 擴散-放射 反射表面의 灰體 等邊사다리꼴 홈 cavity를 研究함으로써 V형 홈 cavity보다 一般의인 形狀의 cavity를 택하였다. 또한 理論展開에는 Net Radiation Method^{7),8)}를 사용하여 cavity를 빠져나오는 全熱束과 假想放射率에 대한 公式를 誘導하였으며 이를 實驗資料를 통하여 立證하였다. 그리고 여러가지 傾斜角과 홈 깊이의 變化에 따른 假想放射率 값을 V형 홈 cavity와 比較·檢討하였다.

2. 理 論

이 研究에서 채택한 cavity의 形狀은 Fig. 1과 같다. 理論展開에 使用된 假定은 다음과 같다.

- (1) 各 表面은 灰體이다.
- (2) 各 表面은 Lambert의 cosine法則을 만족하는 擴散放射·反射表面이다.
- (3) 任意表面의 放射力은 그 表面을 따라서 일정하다.
- (4) 各 表面의 溫度는 均一하다.

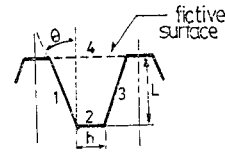


Fig. 1 Shape of equi-lateral trapezoid cavity

Fig. 1에서 紙面에 수직인 方向의 單位길이에 대하여 假想表面인 表面 4를 포함한 4개의 表面으로 둘러싸인 封合體를 생각하자. 表面의 溫度가 均一한 경우라면 이 경우의 Net Radiation Method는 다음과 같이 쓸 수 있다.

任意的 表面 i 에서 單位面積當 損失熱量 q_i 는 表面 i 를 떠나는 放射에너지 $\epsilon_i \sigma T_i^4$ 에서 다른 표면에서부터 表面 i 로 入射하는 에너지 중에서 表面 i 가 吸收한 에너지 $\alpha_i H_i$ 를 뺀 것과 같으므로

$$q_i = \epsilon_i \sigma T_i^4 - \alpha_i H_i$$

이다. 또한 表面 i 를 떠나는 레디오시티 J_i 는, 溫度 T_i 에 의한 表面 i 자체의 放射力과 表面 i 에 入射한 에너지의 反射量의 和과 같으므로

$$J_i = \epsilon_i \sigma T_i^4 + \rho_i H_i$$

이다. 灰體라는 假定에 의하면 $\alpha_i = \epsilon_i$, 및 $\rho_i = 1 - \epsilon_i$ 이므로 損失熱量 q_i 와 레디오시티 J_i 는 다음과 같다.

$$q_i = \epsilon_i (\sigma T_i^4 - H_i) \tag{1}$$

$$J_i = \epsilon_i \sigma T_i^4 + (1 - \epsilon_i) H_i \tag{2}$$

式 (1)과 (2)에서 H_i 를 소거하면 表面 i 에서의 損失熱 q_i 는

$$q_i = \frac{\epsilon_i}{1 - \epsilon_i} (\sigma T_i^4 - J_i) \tag{3}$$

또 入射에너지 H_i 는 $H_i = \sum_{j=1}^N J_j F_{ji}$ 이므로 이를 式 (2)에 代入하면 J_i 는

$$J_i = \epsilon_i \sigma T_i^4 + (1 - \epsilon_i) \sum_{j=1}^N J_j F_{ji} \quad (4)$$

이다. 여기서 F_{ij} 는 表面 i 을 떠나서 表面 j 에 도달하는 에너지부분을 나타내는 形狀係數(configuration factor)이다.

本 研究의 理論에 사용된 表面은 4개이므로 式 (4)는 다음과 같이 풀어 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} J_1 &= \epsilon_1 \sigma T_1^4 + (1 - \epsilon_1)[J_1 F_{11} + J_2 F_{12} + J_3 F_{13} + J_4 F_{14}] \\ J_2 &= \epsilon_2 \sigma T_2^4 + (1 - \epsilon_2)[J_1 F_{21} + J_2 F_{22} + J_3 F_{23} + J_4 F_{24}] \\ J_3 &= \epsilon_3 \sigma T_3^4 + (1 - \epsilon_3)[J_1 F_{31} + J_2 F_{32} + J_3 F_{33} + J_4 F_{34}] \\ J_4 &= \epsilon_4 \sigma T_4^4 + (1 - \epsilon_4)[J_1 F_{41} + J_2 F_{42} + J_3 F_{43} + J_4 F_{44}] \end{aligned} \quad (5)$$

式 (5)에서 表面 i 를 떠나 表面 i 에 되돌아오는 에너지부분인 F_{ii} 는 表面 i 가 평편하거나 볼록한 경우에는 零이므로 여기에서는 $F_{ii} = 0$ 이다. 또한 假想表面 4에 대하여는 外部로부터의 輻射熱傳達를 黑體輻射라고 생각할 수 있으므로 表面 4에서의 輻射熱 J_4 는

$$J_4 = \sigma T_e^4$$

이다. 여기서 T_e 는 cavity 外部의 溫度(environment temperature)이다.

以上の 事實과 熱傳導率이 매우 좋은 材質에서는 兩 傾斜面의 溫度와 基底面의 溫度가 동일한 경우로 생각하여도 무방하므로 等溫表面 封合體로 假定하여 式 (5)를 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} T_1 &= T_2 = T_3 = T_e, \quad \epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 = \epsilon \\ J_1 &= \epsilon \sigma T_w^4 + (1 - \epsilon)[J_2 F_{12} + J_3 F_{13} + J T_e^4 F_{14}] \\ J_2 &= \epsilon \sigma T_w^4 + (1 - \epsilon)[J_1 F_{21} + J_3 F_{23} + \sigma T_e^4 F_{24}] \\ J_3 &= \epsilon \sigma T_w^4 + (1 - \epsilon)[J_1 F_{31} + J_2 F_{32} + \sigma T_e^4 F_{34}] \end{aligned} \quad (6)$$

Cavity의 對稱性和 에너지 保存原理를 利用하면

$$\begin{aligned} J_1 &= J_3 = J \\ F_{14} &= F_{34}, \quad F_{21} = F_{23}, \quad F_{14} = 1 - F_{12} - F_{13}, \quad F_{24} = 1 - 2F_{21} \end{aligned}$$

이고, 이를 式 (6)에 代入하여 整理하면 다음과 같다.

$$J - \sigma T_e^4 = \epsilon \sigma (T_w^4 - T_e^4) + (1 - \epsilon)(J - \sigma T_e^4) F_{13} + (1 - \epsilon)(J_2 - \sigma T_e^4) F_{12} \quad (7)$$

$$J_2 - \sigma T_e^4 = \epsilon \sigma (T_w^4 - T_e^4) + 2(1 - \epsilon)(J - \sigma T_e^4) F_{21} \quad (8)$$

式 (7)과 (8)에서

$$J' = \frac{\epsilon \sigma \Delta T^4 [1 + (1 - \epsilon) F_{12}]}{1 - (1 - \epsilon) F_{13} - 2(1 - \epsilon)^2 F_{21} F_{12}} \quad (9)$$

여기서 $J' = J - \sigma T_e^4$ 이고, $\Delta T^4 = T_w^4 - T_e^4$ 이다.

形狀係數의 互換性原理를 利用하면 表面 1을 떠나 表面 2 및 3으로 가는 에너지부분인 F_{12} 및 F_{13} 는 다음과 같다.

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21}$$

$$F_{12} = (h/L) \cos \theta F_{21}$$

$$F_{13} = 1 - (h/L) \cos \theta F_{21} - \{(h/L) \cos \theta + 2 \sin \theta\} F_{41}$$

따라서 式 (9)는 式 (10)과 같이 整理할 수 있다.

$$\begin{aligned} J' &= \epsilon \sigma \Delta T^4 [1 + (1 - \epsilon) h / L \cos \theta F_{21}] / \left\{ 1 - (1 - \epsilon) \cdot \left[1 - \frac{h}{L} \cos \theta F_{21} - \left(\frac{h}{L} \cos \theta + 2 \sin \theta \right) F_{41} \right] - 2(1 - \epsilon)^2 \frac{h}{L} \cos \theta (F_{21})^2 \right\} \end{aligned} \quad (10)$$

또한 表面 2를 떠나는 輻射熱 J_2 는 式 (8)에 式 (10)을 代入하여 구할 수 있다. 즉,

$$J_2' = \epsilon \sigma \Delta T^4 + 2(1 - \epsilon) J' F_{21} \quad (11)$$

式 (10) 및 (11)에서의 形狀係數 F_{21} 과 F_{41} 은 참고 문헌 [7]과 [8]의 式을 利用하여 計算할 수 있으므로 따로 誘導하지 않고, 단지 利用한 式의 마지막 項인 積分은 Simpson 法則에 의하여 計算하였다.

이상에서 表面 4의 單位面積當의 熱量 q_4 를 輻射熱의 項으로 표시하면

$$\begin{aligned} q_4 &= Q_4 / A_4 = (1 / A_4) [2J' F_{14} A_1 + J_2' F_{24} A_2] \\ &= 2J' F_{41} + (1 - 2F_{41}) [\epsilon \sigma \Delta T^4 + 2(1 - \epsilon) J' F_{21}] \end{aligned} \quad (12)$$

이를 假想放射率의 項으로 나타내어 보면 $q_4 = \epsilon_a \sigma \Delta T^4$ 이므로, 假想放射率 ϵ_a 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \epsilon_a &= 2F_{41} \cdot B + (1 - 2F_{41}) [\epsilon + 2(1 - \epsilon) F_{41} \cdot B] \\ B &= \epsilon [1 + (1 - \epsilon) \frac{h}{L} \cos \theta F_{21}] / \left\{ 1 - (1 - \epsilon) \cdot \left[1 - \frac{h}{L} \cos \theta F_{21} - \left(\frac{h}{L} \cos \theta + 2 \sin \theta \right) F_{41} \right] - 2(1 - \epsilon)^2 \frac{h}{L} \cos \theta (F_{21})^2 \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

또한 式 (13)을 利用하여 假想表面 4를 통하여 빠져 나오는 全熱束 Q_4 를 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Q_4 &= A_4 \cdot q_4 \\ &= (h + 2L \tan \theta) \cdot \epsilon_a \cdot \sigma (T_w^4 - T_e^4) \end{aligned} \quad (14)$$

3. 實 驗

3.1. 實驗裝置

本 研究에 使用한 加熱部의 構造는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 加熱板은 100×100×15mm의 熱傳導係數가 큰 銅板으로, 板 表面은 實驗에 맞도록 뒤틀은 평 面하게 두고, 熱을 放射하는 表面은 사다리꼴로 홈을 만들었다.

實驗模型 製作時, 홈의 傾斜角이 30, 45 및 60度의 3가지 경우에 대하여 깊이가 각각 2, 4, 6, 8 및 10mm

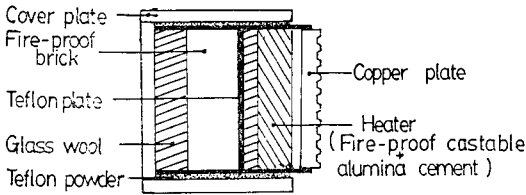


Fig. 2 Schematic diagram of heated plate assembly

가 되도록 15개의 모델을 제작하였고 基底面은 2mm로 일정하게 維持하였다. 따라서 本實驗에 사용한 銅板은 平面의 경우 1개와 사다리꼴 홈 15개로 모두 16개이다. 홈의 加工은 밀링머신으로 일정한 깊이를 판 다음 엔드밀로 원하는 傾斜角으로 傾斜面을 가공한 후 各面은 줄로 다듬질 하였다. 또 表面의 粗度를 일정하게 維持하기 위하여, #200, #400, #1200 및 #1500의 順序로 Sand-paper로 表面을 매끈하게 하였으며, 灰體로 만들기 위하여 촛불로 얇게 그을음을 입혀서 사용하였다.

加熱面을 제외한 모든 면으로의 熱損失을 最小로 하기 위하여 뒷면울 제외한 양면과 위 아래에는 石綿板을 끼워서 銅板의 支持와 斷熱效果를 내도록 하였으며, 石綿板과 熱板 사이에는 석면가루를 넣었다. 뒷면에는 熱板 뒤로 Glasswool, 石綿板, 내화벽돌, Glasswool의 順序로 斷熱材를 넣어서 斷熱 시켰다.

銅板의 溫度와 電位差를 測定하는 데 사용된 熱電對는 Chromel-Alumel($\phi 0.127\text{mm}$)을 사용하였다.

熱接點은 熱傳導係數가 크고, 電氣的으로 絕緣性이 큰 Omega社 製品인 Copper Oxide Cement(使用範圍 215° 내지 530°C)를 사용하였다. 銅板 表面의 溫度를 測定하기 위해서는, 表面에 熱電對를 接着해야 되겠지만 製作上的 어려움으로 各 表面에 일정한 깊이(2mm)의 구멍을 뚫어 附着시켰다. 이렇게 하더라도 銅板의 熱傳導率이 매우 좋으므로(20°C 에서 $k=370\text{w/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$) 溫度는 거의 表面溫度와 같다.

加熱量의 測定을 위하여 Yokogawa社 製品인 Watt meter를 설치 하였으며, 銅板의 溫度 測定에는 Fluke社 製品인 Data logger (Model; 220B)를 사용 하였다.

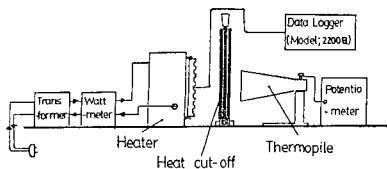


Fig. 3 Schematic diagram of experimental set-up

Thermopile에서의 電位差는 Yokogawa社 製品인 Portable potentiometer (Type: 2727)을 사용하였고, 熱遮斷器와 Thermopile은 Scott Engineering社 製品 (Model: Radiation 9053)을 사용하였다.

實驗裝置의 概略圖는 Fig. 3과 같다.

3.2. 實驗方法

히터의 電源은 가변전압기를 통하여 연결함으로써 電壓을 測定하고 와트미터로써 加熱量을 測定하였다. 銅板表面의 溫度가 均一한가를 알아보기 위하여 豫備實驗을 平面의 경우에 대하여 수행 하였다. 이 경우에 銅板의 中心部에 3개, 양 옆에 4개의 熱電對를 附着하였다. 銅板 表面의 溫度가 均一하게 分布하는가를 檢討하기 위하여 Fig. 4에 溫度를 나타내었다.

Fig. 4에서 銅板 表面의 平均溫度와 주위 온도와의 差는 191.3°C 이고 板 中心點 溫度와의 差는 193.3°C 이다. 板 中心點의 溫度를 T_c 로 擇하였을 때의 오차는 2°C 이다.

加熱量이 더 작거나 커지더라도 이와 비슷한 경향이 나타나는데 서로 다른 入力에 대하여 最小 및 最大 오차는 각각 0.9°C 및 3.3°C 정도이다.

또한 中心點 基底溫度와 홈이 진 경우의 斜面尖端溫度 差는 홈이 가장 깊은 경사각이 30° , 깊이가 10mm에 대하여 檢討하였다. 中心點 基底溫度를 T_c 로 擇하였을 경우에 基底溫度와 斜面溫度와의 오차는 最小 0.5°C , 最大 1.1°C 이다. 또한 基底溫度를 基準으로 한 平均溫度와의 오차는 0.8°C 이다. 다른 加熱量에 대하여서도 비슷한 경향이 나타나며, 最小 및 最大 오차는 각각 0.7°C 및 1.2°C 이다.

以上の 예비실험을 통하여 平板의 경우에는 中心點 溫度를 홈이 진 경우에는 中心點 基底溫度를 均一溫度 T_c 로 擇할 수 있는데 이는 銅板의 熱傳導率이 매우 우수하기 때문이기도 하다. 또 여러개의 熱電對가 附

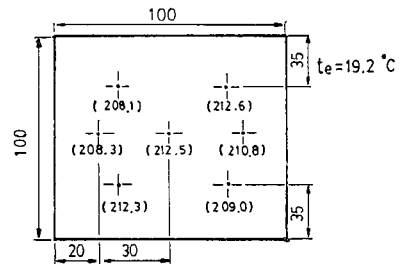


Fig. 4 Typical temperature distribution of heated flat plate at $q=180\text{w/m}^2$ and $\tau=120\text{min}$

着되어서는銅板에서 빠져나오는輻射熱량을精密하게測定하기 곤란하므로銅板中心點에熱電對를 한개만附着하여 여기서測定된溫度를均一溫度 T로 택하였다. 이렇게 하여도 위의 예비실험에서 얻은結果에서알 수 있듯이 그 오차는 무시할 수 있다.

Fig. 5와 6에는 서로 다른加熱量에 대하여銅板의溫度分布를 나타내었다. Fig. 5와 Fig. 6에 의하면作動時間이 120분이 지났을 때銅板의溫度가 거의 일정하게 되므로 이 때를準定常狀態(quasi-steady state)에 到達하였다고假定한 뒤, 모든資料를 130분이 되었을 때를基準으로測定하였다. 實際로 thermopile에集積되는輻射에너지를 potentiometer로써電位差로測定해내는 데 所要되는時間이 10餘秒 정도인데 反하여, 이時間을前後한 10내지 20초 간격 동안의溫度變化는 없거나, 0.1 내지 0.3°C 정도이므로 이假定은 옳다. 따라서 이때의溫度 T를熱平衡溫度 T_o로使用 計算하였다.

本實驗에 사용한加熱量은 1.9×10⁴w/m²로 일정하게維持시켰으며,銅板이平衡溫度에 到達했을 때(本實驗에서는加熱時間이 130분이 될 때)熱遮斷器를 제거하였다. 이렇게하면銅板에서 나오는輻射에너지가 thermopile에集積하게 되고, 이를 potentiometer

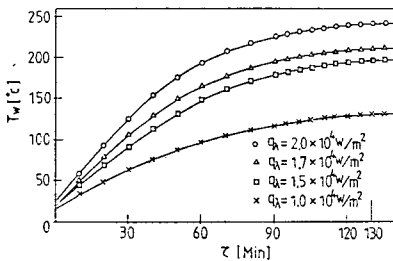


Fig. 5 Temperature distribution of flat plate for various heat input

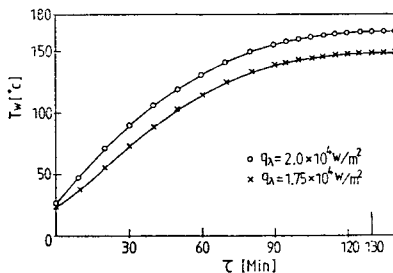


Fig. 6 Temperature distribution of trapezoid groove plate for various heat input at θ=30° and L/H=5

를 통하여電位差로測定하였다. 이때의 potentiometer測定 scale은 [mV]였으며,熱電對의補償은 potentiometer로 수행하였다.

實驗에 사용된銅板의等邊사다리꼴 홈은 깊이는 5가지 경우, 즉 깊이에 대한基底面幅의比인 L/h가 1, 2, 3, 4 및 5를 사용하였으며, 각 경우에 대하여傾斜角은 30, 45 및 60도의 세가지 경우를 고려하였다.

本實驗에서 구한外部溫度는 같은 종류, 같은 길이의熱電對를 사용하여銅板表面의溫도와 함께 data logger로測定하였다. 이溫度는實驗中인室內溫度가 되는바, 약간의變化가 있었다. 이溫度의微小變化는 다음과 같은方法으로 해결하였다. 130분까지는 5분 간격으로 130분부터는測定하는 동안 3내지 5초 간격(data logger가資料를 적어내는데 걸리는 최소시간)으로 구하여서測定時間에 나온資料의平均値로 그 값을 정하였다.

4. 結果 및 考察

4.1. 本論文의理論結果와 V형 홈 Cavity와의比較

Net Radiation Method에 의한結果式은式 (13)과 같다. 이式에서傾斜角이 일정한 경우에 대하여 고려하면 다음과 같다.

L이 무한히 크면 h/L이 零에 접근하게 되어基底面에 의한 영향은 사라지게 된다. 즉封合體는 4개의表面에서 3개의表面으로 바뀌게 되고,表面 2를 떠나表面 1로 가는 에너지는存在하지 않게되므로 F₂₁=0이 된다. 또한表面 4를 떠나表面 1로 가는 에너지부분인 F₄₁=1/2이 된다. 따라서式 (13)의假想放射率 ε_o와 상수 B는 다음과 같다.

$$\epsilon_o' = 2F_{41} \cdot B' = B' = \epsilon / \{ \epsilon + (1 - \epsilon) \sin \theta \} \quad (14)$$

Fig. 7에는式 (13)과 참고문헌 [7]의結果値를 서로比較하여 놓았다. Fig. 7에서 보듯이傾斜角이 40도 이상인 경우에 두曲線이 매우 잘 일치함을 알 수 있다. 따라서傾斜角이 40도 이상인 경우에는사다리꼴 홈 cavity에 대한 이結果式을 V형 홈 cavity에 사용 하여도 된다.

Fig. 8에는사다리꼴 홈 cavity의理論結果를, 無次元數 L/h가 1, 5 및 10의 3가지 경우에 대하여,傾斜角의變化에 따른 깊이 변화의 영향을 서로比較한 것이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이, 일정한無次元數 L/h에 대하여假想放射率은傾斜角이 증가함에 따라

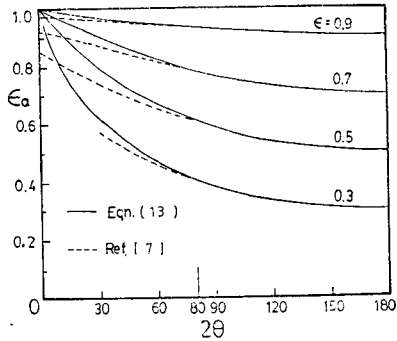


Fig. 7 Comparison of the results of Eqn.(13) with reference[7] for various emissivities

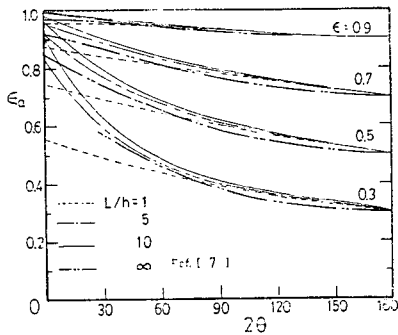


Fig. 8 Comparison of the results of apparent emissivity for various dimensionless depth(L/h)

감소되는 경향을 나타낸다. 傾斜角이 90도에 접근함에 따라 假想放射率은 表面의 放射率에 가까워지는데, 이는 傾斜角이 증가함에 따라 사다리꼴 홈이 平面과 類似해지기 때문으로 생각된다. 또한 같은 材質(放射率의 값이 같은)의 경우에는 경사각이 40도 以上인 범위에서 V형 홈 cavity보다 假想放射率의 값이 항상 높은데 이러한 사실은 基底面의 存在가 放射力을 증가시켰기 때문이라고 생각된다.

일정한 傾斜角의 경우, 깊이의 變化가 放射率에 미치는 영향을 알아보기 위하여 結果를 Fig. 9에 圖示하였다. 서로 比較한 傾斜角은 45, 60 및 75度이다. 無次元數 L/h가 증가함에 따라 假想放射率은 조금씩 증가한다. 그러나 일정한 깊이에 到達하게 되면, 더 이상의 증가가 없는 현상이 나타나는데 이 때를 無限 깊이(infinite depth)라고 하고 이에 해당하는 假想放射率의 값을 極限値로 表現하기도 한다⁷⁾.

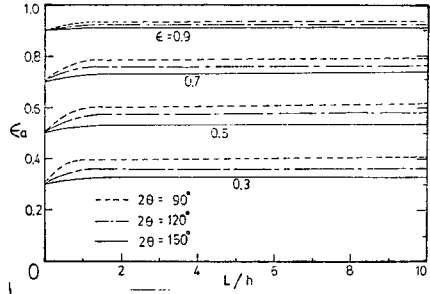


Fig. 9 The results of apparent emissivity for various inclined angles

4. 2. 理論結果와 實驗結果의 比較

Data logger에 의하여 測定한 銅板의 溫度와 外部 溫度, potentiometer로 測定한 電位差 등을 이용하여 假想放射率을 計算한 過程은 다음과 같다.

單位面積, 單位時間 當의 輻射에너지는 輻射熱交換을 하는 두 물체의 絕對溫度 4乘의 差에 比例하므로 $E/(r \cdot A) = \epsilon \sigma (T^4 - T_e^4)$ 이다. 그리고 이 에너지와 電位差는 서로 比例關係에 있으므로 實驗에 의하여 假想放射率을 計算하는 式은 다음과 같다.

$$\epsilon_a = \frac{V_a}{V_i} \cdot \frac{A_i}{A_a} \cdot \epsilon_r \cdot \frac{(T_a^4 - T_e^4)}{(T_i^4 - T_e^4)} \quad (15)$$

式 (15)에서 下添字 I 및 a는 各各 既知의 放射率을 가지는 基準銅板과 放射率의 값을 구하고자 하는 試驗銅板을 의미한다. V 및 T는 電位差와 絕對溫度를 나타낸 것이다. 여러가지 傾斜角度에 대하여 測定한 實驗結果를 理論結果와 比較하여 Fig. 10에 圖示하였고 앞 節에서 說明한 것과 같은 경향을 Fig. 10에서도 볼 수 있다. 實驗結果는 ±5% 內에서 理論結果와 일치한다.

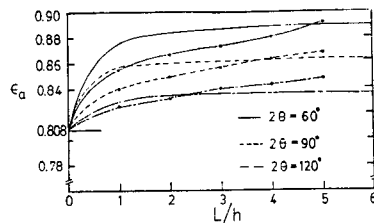


Fig. 10 Comparison of the results of Eqn.(13) with experimental results for various inclined angles

5. 結 論

本 論文에서 사용한 理論解析과 實驗資料를 통하여

연은, 等溫-擴散 等邊사다리꼴 홈 cavity 의 輻射放射率 特性에 대한 結論은 다음과 같다.

1. 사다리꼴 홈 cavity 는 V형 홈 cavity 의 一般的인 형태로 취급될 수 있고, 假想放射率 값은 사다리꼴 홈 cavity 의 경우가 V형 홈 cavity 의 경우보다 크다.

2. 傾斜角이 40도보다 큰 경우에 잘 일치하는 사다리꼴 홈 cavity 의 假想放射率은 다음과 같은 式으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \epsilon_a &= 2 \cdot F_{41} \cdot B + (1 - 2F_{41}) [\epsilon - 2(1 - \epsilon)F_{41} \cdot B] \\ B &= \epsilon \left[1 + (1 - \epsilon) \frac{h}{L} \cos \theta F_{21} \right] / \left\{ 1 - (1 - \epsilon) \cdot \right. \\ &\quad \left. \left[1 - \frac{h}{L} \cos \theta F_{21} - \left(\frac{h}{L} \cos \theta + 2 \sin \theta \right) F_{41} \right] \right. \\ &\quad \left. - 2(1 - \epsilon)^2 \frac{h}{L} \cos \theta (F_{21})^2 \right\} \end{aligned}$$

參 考 文 獻

1. E.M. Sparrow and J.L. Gregg, "Radiant emission from a parallel-walled groove", ASME Trans., J. of Heat Transfer, Vol. 84, pp. 270-271, 1962.
2. E.M. Sparrow and V.K. Johnson, "Thermal radiation absorption in rectangular groove cavities", ASME Trans., J. of Applied Mechanics, Vol. 30, pp. 237-244, 1963.
3. E.M. Sparrow and S.H. Lin, "Absorption of thermal radiation in a V-groove cavity", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 5, pp. 1111-1115, 1962.
4. E.M. Sparrow, L.U. Albers and E.R.G. Eckert, "Thermal radiation characteristics of cylindrical enclosures", ASME Trans., J. of Heat Transfer, Vol. 84, pp. 73-81, 1962.
5. E.M. Sparrow and V.K. Johnson, "Absorption and emission characteristics of diffuse spherical enclosures", ASME Trans., J. of Heat Transfer, Vol. 84, pp. 188-189, 1962.
6. E.M. Sparrow and V.K. Johnson, "Radiant emission characteristics of diffuse conical cavities", J. of the optical Society of America, Vol. 53, pp. 816-821, 1963.
7. E.M. Sparrow and R.D. Cess, "Radiation Heat Transfer," Chapter 3-6, augmented ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, N.Y., 1978.
8. Warren M. Rohsonow and James P. Hartnett, "Handbook of heat transfer", section 15, part B. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, N.Y., 1973.