

接着型 薄膜 溫度測定 게이저식 熱傳達센서의 開發에 관한 研究

한 응 교\*, 최 규 철\*, 노 병 옥\*\*, 박 두 원\*\*\*, 이 명 호\*\*\*\*

Development of Heat Flux Sensor Using Adhesive Type Film Gauge for Measuring Temperature

Eung Kyo Han\*, Gue Cheol Choi\*, Byung Ok Rho\*\*, Too Won Park\*\*\*, Myung Ho Lee\*\*\*\*

ABSTRACT

In this study on the development of the heat flux sensor, unlike the common heat-flux sensor with thermocouple, the heat-treated adhesive-type film nickel-gauge was used in measuring temperature. The proposed its Ni-gauge is bound to be compatible with platinum gauge(Pt-Gauge) in its linearity. It is also considered to be cheap in economical sense.

In the evaluation of it's performance, the numerical analysis is essential to investigate charateristics of defining the proper sensor and the adequate analysis is depended upon boudary conditions and actual conditions.

There are many types of heat flux sensor in the market, and adhesive type flux sensor is most common. In the present investigation, this type of heat flux sensor had been chosen. The figure of the sensor under consideration is an open cavity type, which is calculated numerically by SIMPLER algorithm.

The temperature distributions of the sensor predicted by numerical calculation for steady and unsteady states are able to give the chracteristics of the adhesvie type heat flux sensor(1st heat flux sensor) according to the heat flux. It means that the outvoltage, the sensitivity, and the performances of responsibilty could be evaluated as a result. Through this analysis improved heat flux sensor(2nd heat flux sensor) could be predicted with the reflection of proper operating temperature(150°C) of th Ni-gauge.

I. 序 論

最近, 熱의 問題는 에너지面에서 嚴格하게 檢討할 必要가 커져서, 當연한 結果로서 熱의 移動量 즉 熱傳達率를 正確히 把握할 必要가 생겼다. 熱流(Heat

Flux)에는 大別해서 放散 熱流와 傳導 熱流의 2種類가 있고, 종래에 이들의 熱流值를 기본으로 熱傳導方程式으로 계산되었다.<sup>(1)(2)</sup>

그런데, 이와 같이 方程式을 사용해서 熱流의 크기를 구하는 方法은, 상당히 큰 評價 誤差<sup>(1)</sup>를 가져올

\* 한양대학교 정밀기계공학과(정회원)

\*\* 전자부품종합기술연구소

\*\*\* 명지실업전문대학교 기계설계학과(정회원)

\*\*\*\* 서울산업대학교 기계설계학과(정회원)

우려가 있으므로, 이에 대해 적절한 방법으로 熱流 센서를 사용하면, 예를 들면, 評價 誤差를 10%以内로 수습하는 것이 비교적 용이한 수가 많아서 熱流의 直接 測定에 意義<sup>3)</sup>가 있는 것이다.

그런데, 종래의 表面 溫度를 알기 위한 測溫게이지로서는 白金 센서가 가장 精密正確度 좋은 게이지로 알려져 있으나, 경제적 側面에서 일부분에서만이 實用化가 이루어져 있는 실정이고, 따라서 表面 溫度의 測定이 더욱 要求되는 熱流 센서가 대부분을 차지하고 있다.

이에 대해, 本 研究에서는 熱流 센서의 주류를 이루는 기존의 열전쌍을 이용한 熱流 센서(슈미트형 熱流 센서나 보엘텔의 熱流 센서 등)와는 달리, 本 研究室에서 연구된 바 있는, 白金 센서에 상당하는 精密 正確度의 直線性을 가지면서도 經濟的으로도 저렴한 熱處理된 接着型 薄膜 測溫 니켈게이지<sup>(5)(7)</sup>를 이용한 接着型 薄膜 測溫 게이지式 熱流 센서의 開發에 따른 特性에 關係 精確한 境界 條件 등의 完備한 情報나 실제적인 條件 등의 모사가 가능한 數值 解析的 方法을 적용하여 평가하였다.

熱流 센서에는 여러 형태가 있으며, 그 가운데 가장 일반적인 表面 附着型 熱流 센서의 형태를 고려하였으며, 이것은 바깥쪽의 放熱面이 공기중에 노출되어 있는 상태이므로 일종의 캐비티<sup>(8)(10)</sup>의 형상이 되며, 바깥면은 自然 對流에 의해 熱傳達이 이루어진다. 이러한 경우에는 심플러 알고리즘<sup>(11)</sup>이 적용될 수 있다.

또한 위의 數值的 解析의 결과로부터 얻은 溫度의 正常的·非正常的 溫度 分布는 바로 熱流 센서에 직접적인 영향을 미치게 되므로, 이로부터 熱流 센서에 대한 特性을 豫測·評價할 수 있었다.

## II. 理 論

### 2.1 熱流 센서의 測定 原理

Fig. 1과 같이 熱傳達이 되고 있는 固體 表面에, 熱傳導率이  $k(W/(m \cdot ^\circ C))$ 이고 두께  $d(m)$ 가 충분히 작은 薄板을 부착했다고 하면, 定常狀態로 되고 나서, 나중에 이 薄板을 貫通해서 흐르는 熱流 密度  $q(W/\pi)$ 는 Fourier 법칙(일반적으로는 固體와 固體사이의 傳導의 경우에만 정확히 적용된다.)으로 주어진다.

또한, 薄板의 두께가 충분히 작아서 그 부착에 의해 放散 熱流 密度에 변화가 생기지 않는다고 간주될 경

우에는 그 放熱面에서의 放散 熱傳達率도  $q=q_0$ 로 되어서 그 값이 구해진다. 以上이 현재 가장 많이 사용되는 薄板型 熱流 센서의 原理이다.

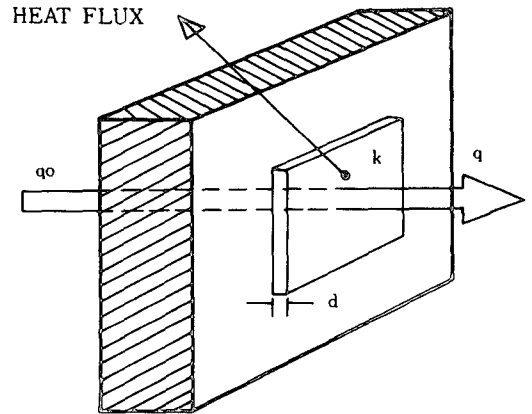


Fig. 1 Principle of Measurement of Heat Flux Sensor

### 2.2 어댑터(Adaptor) 回路의 構成

接着型 薄膜 測溫 게이지는 常溫에서의 抵抗이 약 1.24~2.2Ω으로 대단히 낮고, 溫度에 대한 抵抗變化率이 일반 스트레인 게이지에 비하여 크므로 스트레인 測定器의 게이지率(Gauge Factor)을 2.0으로 할때, 1°C당 약  $1750 \times 10^{-6}$  (Strain 換算)의 出力을 얻게 되어

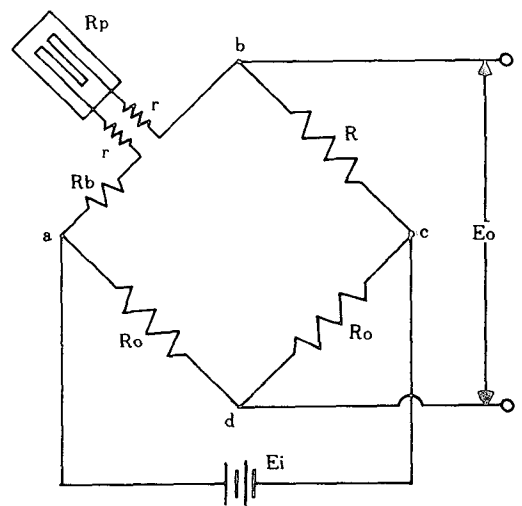


Fig. 2 Circuit of 2 Line Type Adaptor (for 1 Active gauge Method)

스트레인 인디케이터(Strain Indicator)나 앰프와의 밸런스(Balance)의 균형이 문제가 되며, 또한 測定 溫度의 범위가 좁게 되거나 브릿지 回路의 非直線性이 문제가 되기 때문에, 보통 어댑터를 부착하여 感度를 충분히 저하시키도록 하는 構造로 사용된다.

어댑터는 Fig. 2와 ab번에 測溫게이지  $R_p$ 와 直列로  $R_B$ 가 連結되어 브릿지의 出力을 低下시켜 測定器로 測定된다.

bc번의 R은 브릿지 平衡 條件으로부터  $R=R_B+R_p+2r$ 로 된다.  $R_p$ 는 一般的으로  $120\Omega$ 의 固定 抵抗을 利用한다.

여기서  $\alpha$ 와  $\alpha'$ 의 關係를 구해 보면, 브릿지의 平衡 條件에 따라

$$R = R_P + R_B \text{ (Lead線 抵抗無視)} \quad (1)$$

가 되며, 測溫 게이지  $R_p$ 의 溫度 變化에 따른 抵抗 變化를  $\Delta R_p$ 로 한 경우, R의 抵抗 變化  $\Delta R$ 을 구하면,

$$\Delta R = \Delta R_p$$

$$\alpha' = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_p}{\Delta R_p} \cdot \frac{\Delta R_p}{R_p} \cdot \frac{R_p}{R} \dots (2)$$

이고,  $\alpha = \Delta R_p / R_p$ ,  $R = nR_p$ ,  $\Delta R / \Delta R_p = 1$ 로 되는 關係에 따라 위의 式(2)는

$$\alpha' = \frac{1}{n} \cdot \alpha \dots (3)$$

가 되고, 이것을  $\alpha$ 가  $1/n$ 만큼 감소된 것을 보이고 있다.

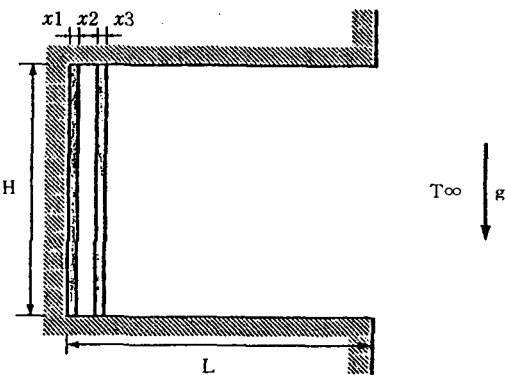


Fig. 3 Open Cavity Geometry with Heat Flux Sensor at the Left.

### 2.3 表面 附着式 熱流 센서의 熱傳達 解析

本 센서의 定常 및 非定常 狀態의 解析을 하기 위해서는 熱流가 센서의 收熱面에 가해지고, 그 열이 센서의 放熱面으로 흐르도록 사방이 斷熱되어 있고, 放熱面은 공기에 접해있다고 생각되므로 아래의 Fig. 3과 같은 幾何學의 形像으로 나타낼 수 있으며, 이것을 2次元 層流 自然 對流로서 일종의 오픈 캐비티(Open cavity)의 模樣이 되며, 數值의으로 解析할 수 있다.

#### 2.3.1 支配 方程式

本 研究에 따르는 假定은 Boussinesque 近似(Boussinesque approximation)와 一定 물성치(Constant Properties)의 條件이며, 다음과 같은 支配 方程式(Governing Equations)가 適用된다.

2次元 層流 流動을 支配하는 連續 方程式과 運動量 方程式 그리고 에너지 方程式은 점성 소산이 없는 경우 다음과 같다.

#### Continuity Equation :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) = 0 \dots (4)$$

#### Momentum Equation :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho u v) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (\mu \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu \frac{\partial u}{\partial y}) \dots (5)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} (\rho v) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u v) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v^2) = - \frac{\partial p}{\partial y} - \rho g + \frac{\partial}{\partial x} (\mu \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu \frac{\partial v}{\partial y}) \dots (6)$$

#### Energy Equation :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho c_p T^0) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u c_p T^0) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v c_p T^0) = \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial T^0}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial T^0}{\partial y}) \dots (7)$$

또한, 垂直 方向으로는 陰의 方向으로 重力이 作用하고 있으므로, 方程式(7)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho u^2) = \frac{-\partial (p - p^\infty)}{\partial y} - (\rho - \rho^\infty) g + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) \dots \dots \dots (8)$$

2.3.2 境界 條件 및 數直의 接近 解析

2次元的으로 둘러싸인 自然 對流에 對한 研究는 數直의 問題에서 스트림 函數나 速度를 變數로서 使用하고 있으나, 境界가 오픈되어 있는 境遇에는 스트림 函數(Stream Function)나 와도(Vorticity)를 考慮할 수 없다. 그러므로 한가지 接近 方法으로는 오픈되어 있는 入口밖까지 計算 領域을 擴張시키는 것이며, 本論文에서는 메모리 空間 및 計算 時間을 줄이는 方法으로써 캐비티 以內로 計算 領域을 制限하였으며, SIMPLER(Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations Revised)알고리즘을 使用하였다.

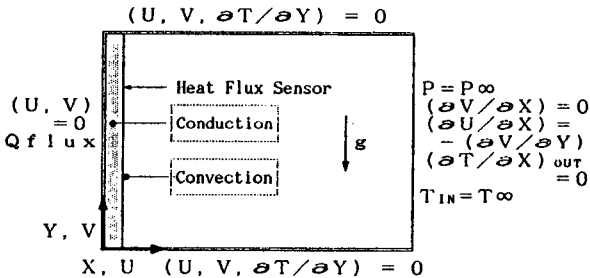


Fig. 4 Boundary Conditions for Open Cavity with Heat Flux Sensor at the Left

Fig. 4는 本 研究에서의 境界 條件을 보여주고 있다. 그림에서 왼쪽 壁面에서는 일정한 熱流가 공급되고 斷熱되어 있으며, 위와 아래의 水平 壁面 또한 斷熱되어 있고, 주위로부터는 들어오는 流體는 공기이며 상온(25°C)으로 설정되어, 있으며, 境界面 밖으로 나가는 流體의 溫度는 上昇 條件(Upwind condition)을 만족하고 있어서 對流는 지배적이라고 가정하였다.

또한, 그리드 포인트(Grid Points)는 20×50의 엇갈린 격자망(staggered Grid System)으로 하였고, 그림에서 熱은 센서 부분에서의 傳導에 의한 다음 對流에 의해 傳達된다.

2.3.3 SIMPLER 알고리즘

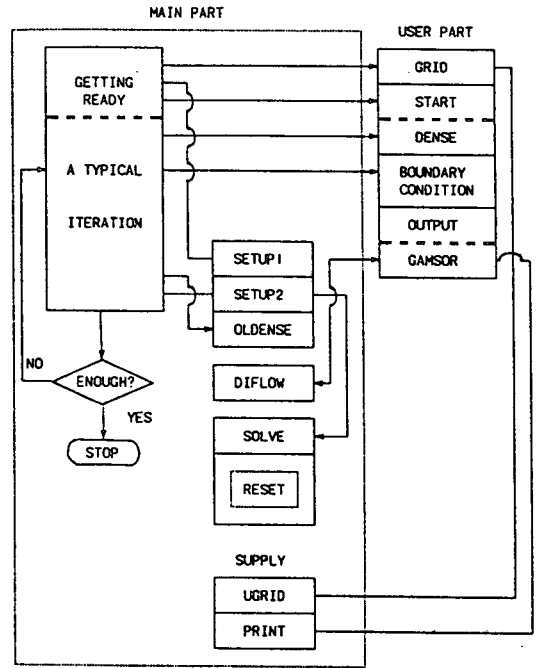


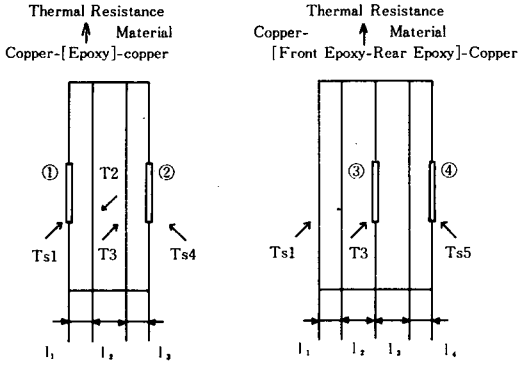
Fig. 5 Structure of computer Program using SIMPLER Algorithm

Fig. 5는 本 研究에서 使用한 프로그램의 構造이며, 메인 프로그램과 서브루틴 프로그램으로 이루어져 있으며, Setup1과 Setup2는 각각 기하학적 정보 계산 및 이산화(Discretization)하는 과정을 맡고 있으며, Diflow에서 方程式의 형태를 결정한다. 또한, 數值 計算의 간략한 節次는 다음과 같다.

- (1) 종속 변수(U, V, P, T)의 初期值를 設定하거나 豫測한다.
- (2) 運動量 方程式의 係數들을 계산하고, 가상 속도를 얻는다.
- (3) 壓力場을 계산한다.
- (4) 새로운 壓力場을 근거로 하여 運動量 方程式을 푼다.
- (5) 質量 生成式을 계산하고, 壓力 修正 方程式을 푼다.
- 그리고 速度場을 계산한다. 이때 壓力은 수정하지 않는다.
- (6) 새로운 速度場을 사용하여 새로운 溫度場을 결정한다.
- (7) 수렴해를 얻을 때까지 위의 順序 2로 가서 반복 계산한다.

2.4 接着型 薄膜 測溫 게이이지식 熱流 센서의 構造

Fig. 6은 1·2次 熱流 센서의 斷面에서의 測溫게이지의 位置를 보이고 있다.



①, ②, ③, ④ : Adhesive Type Film Gauge for Measuring Temperature  
 (a) First Heat Flux Sensor  
 (b) Second Heat Flux Sensor

Fig. 6 Cross-Section Schematic Diagram of Heat Flux Sensor using Adhesive Type film Gauge for Measuring Temperature

本 研究에서 試作한 接着型 薄膜 測溫 게이이지식 熱流 센서는 아래에서 보인 Fig. 7과 같이 熱流密度를 測定하기 위한 定電壓 휘이트스톤 브릿지(constant-Voltage Wheatstone Bridge)의 2액티브(Active) 게이이지法으로 어댑터 回路를 적용한 構造를 하고 있으며, 이 후의 결과도 Fig. 7의 構造의 가정하에 계산하였다.

그림에서와 같이  $(R_1+r_1)R_3=R_2(R_4+r_4)$ 가 만족되어 平衡이 이루어지고,  $E_o=0$ 이 된 수,  $(R_1+r_1)$ 과  $(R_4+r_4)$ 가 變化하여  $\Delta r_1$ 과  $\Delta r_4$ 로 變化하게 되면, 出力 電壓  $\Delta E_o$ 는 다음식과 같다.

$$\Delta E_o = \frac{(R_1+r_1+\Delta r_1)R_3 - R_2(R_4+r_4+\Delta r_4)}{(R_1+r_1+\Delta r_1+R_2)(R_3+R_4+r_4+\Delta r_4)} E_i \dots \dots \dots (9)$$

Higher-order 項을 無視하고  $r=(R_1+r_1)/R_2$ 로 하면, 式(9)는 다음과 같이 되어 블릿지의 出力 電壓은 抵抗 變化에 對한 線型 函數가 된다.

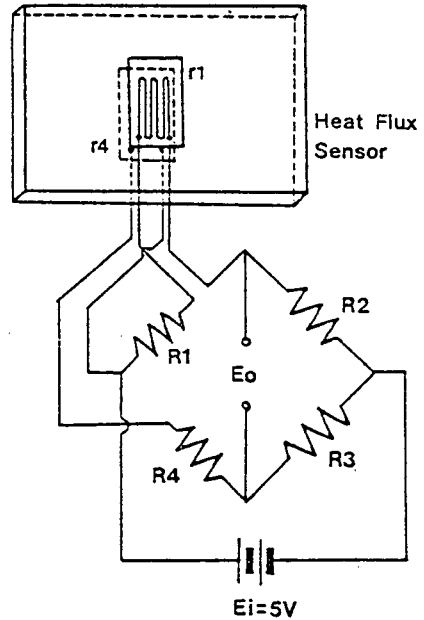


Fig. 7 Schematic Diagram of Component Circuit of Heat Flux Sensor using Adhesive Type Film Gauge for Measuring Temperature

$$\Delta E_o = \frac{r}{(1+r)^2} \left[ \frac{\Delta r_1}{R_1+r_1} - \frac{\Delta r_4}{R_4+r_4} \right] E_i \dots \dots \dots (10)$$

결국 위의 式으로부터, 熱流 센서의 바깥 表面 溫度의 變化值의 差異에 比例하는 出力 電壓을 얻을 수 있다.

또한, Higher-order 項을 考慮하면,  $\Delta E_o$ 는  $\Delta R/R$ 의 非線型 函數로서 다음과 같이 表現된다.

$$\Delta E_o = \frac{r}{(1+r)^2} \left[ \frac{\Delta r_1}{R_1+r_1} - \frac{\Delta r_4}{R_4+r_4} \right] (1-\eta) E_i \dots \dots \dots (11)$$

여기서,  $\eta$ 는 다음과 같다.

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{r+1}{\frac{\Delta r_1}{R_1+r_1} + \frac{\Delta r_4}{R_4+r_4}}} \dots \dots \dots (12)$$

### III. 結果 및 考察

#### 3.1 薄膜 測溫게이지의 抵抗測定

Fig. 8은 恒溫槽에서 熱流 센서에 부착된 測溫게이지의 溫度 變化에 따른 抵抗 變化의 特性을 보이고 있다. 그래프에서 測溫게이지는 두께에 따라 그 기울기가 약간 증가함을 알 수 있다. 이것을 線膨脹係數가 큰 에폭시 수지가 두께의 증가로 測溫게이지에 약간의 영향을 미치기 때문이라고 생각된다. 그러나 전체적으로는 기울기가 크게 다르지 않고, 또한 고려하는 에폭시 수지의 두께도 1~3mm이므로 시뮬레이션의 데이터로는 이 그래프 전체의 平均으로 하였다.

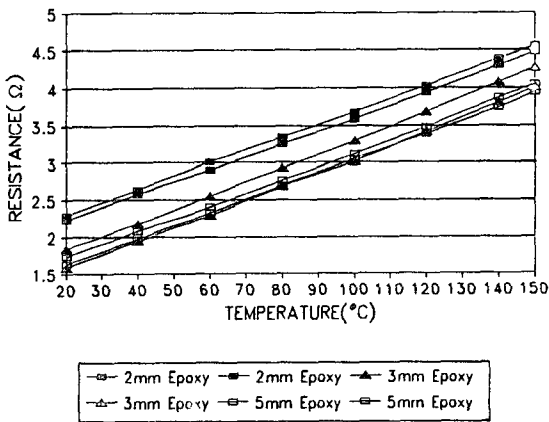


Fig. 8 Relation between Temperature and Resistance of film Temperature Gauge Attached to Heat Flux Sensor

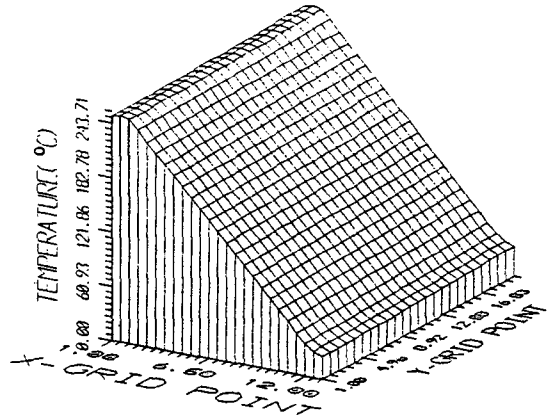
#### 3.2 1次 熱流 센서의 特性

##### 3.2.1 定常 狀態에서의 熱流 센서의 特性

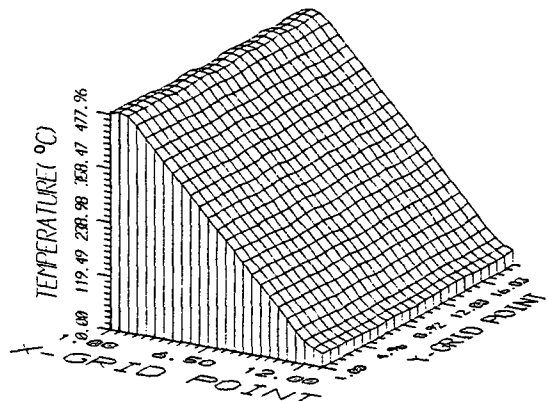
##### 3.2.1-1 定常 狀態에서의 센서의 溫度 分布

Fig. 9의 (a), (b)는 定常 狀態에서의 횡단면에서의 一定 熱流(40Watt/m<sup>2</sup>)에 대한 溫度 分布를 나타내고 있다. 그림에서 Y방향으로는 그리드 포인트 20까지가 각각 센서의 높이 10cm에 해당하며, (a)에서는 X방향 그리드 12까지가 두께 1mm에, (b)에서는 두께 2mm에 해당한다. 그림에서 (a), (b) 모두 X방향으로의 증가에 따라 溫度가 감소하고 있으며, 특히 Y방향으로는 미소하나 그리드 포인트의 증가에 따라 溫度가 증가하고 있음을 알 수 있다. 이것을 空氣가 對流함으로써 오는

결과라고 생각한다. 때문에 測溫게이지의 위치에 따라 약간의 溫度 差異가 발생할 것이며, 熱流가 증가함에 따라 이 影響은 상당히 증가할 것이다. 따라서 이후의 결과는 Y방향의 그리드 포인트중 中央에 위치해 있는 11포인트에 測溫게이지가 위치해 있다고 생각하고 결과를 고찰하였다.



(a) Thickness of Heat Flux Sensor (Copper+Epoxy + Copper) : 1.2mm



(b) Thickness of Heat Flux Sensor (Copper+Epoxy + Copper) : 2.2mm

Fig. 9 Steady-state Temperature Distribution of Heat Flux Sensor

##### 3.2.1-2 熱流 센서의 出力 電壓과 感度

Fig. 10은 熱流이하 熱流 센서의 出力 電壓의 관계이며, Fig. 11는 에폭시 수지의 두께 변화에 따른 센서의 感度を 보이고 있다.

그래프의 두 결과는 휘트스톤 브릿지에 5V (이하 모두 5V의 定電壓을 인가하였을 때의 出力을 나타낸다.)의 定電壓을 인가하였을 때의 결과이며, 熱流의 증가에 따라 센서의 出力 電壓이 비례해서 증가하며, 두께의 증가로 같은 熱流에 대해서도 出力 電壓이 높고, 따라서 두께의 증가에 의하여 感度가 증가함을 알 수 있다.

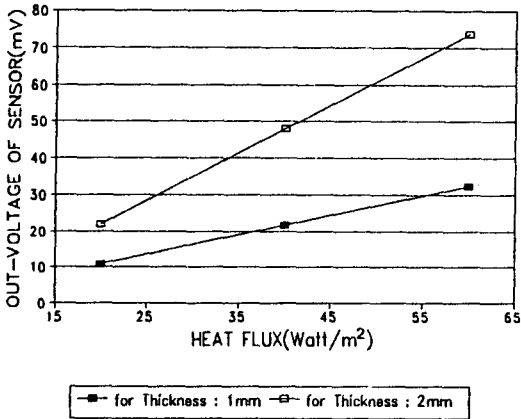


Fig. 10 Relation between Heat Flux and Out-Voltage of Sensor

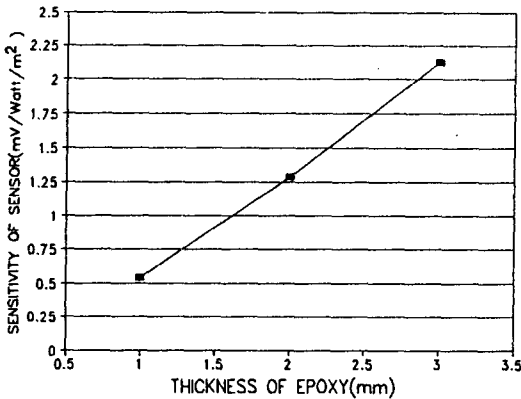


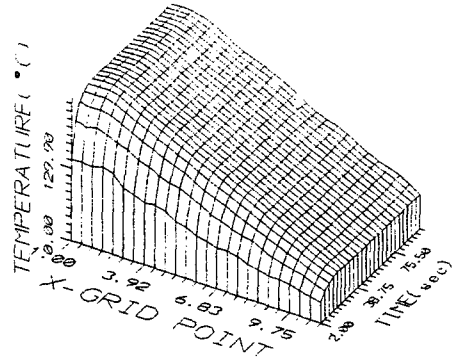
Fig. 11 Relation between Thickness of Epoxy Resin and Sensitivity of Heat Flux Sensor

### 3. 2. 2 非定常 狀態에서의 熱流 센서의 特性

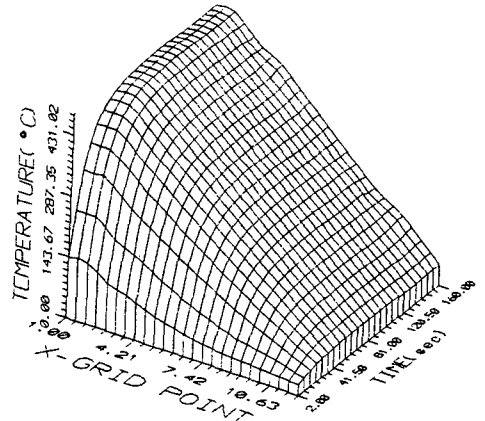
#### 3. 2. 2-1 熱流 센서의 非定常 特性

Fig. 12의 (a), (b)는 非定常 狀態에서의 각 그리드 포인트에서의 一定 熱流(40Watt/m²)의 시간의 변화에 대한 溫度 커브를 보이고 있다. 그림에서 收熱面쪽으로

부터 放熱面쪽으로 가면서 定常 狀態에 이르는데까지의 시간이 더 소요되며, 두께에 따라서는 Fig. 12dml (a)보다는 (b)에서 전반적으로 더욱 지연된 非定常 過程을 보이고 있다.



(a) Thickness of Heat Flux Sensor (Copper+Epoxy+Copper) : 1.2mm



(b) Thickness of Heat Flux Sensor (Copper+Epoxy+Copper) : 2.2mm

Fig. 12 Unsteady-state Temperature Curve at Each Grid Point of Heat Flux Sensor

#### 3. 2. 2-2 熱流 센서의 非定常 特性과 應答性

Fig. 13은 센서의 非定常 特性을 보이고 있으며, Fig. 14는 두께와 센서의 應答性의 관계를 나타내고 있다. Fig. 13, 14로부터 豫測할 수 있었던 바와 같이 두께의 증가와 더불어 應答性도 지연되고 있음을 알 수 있다.

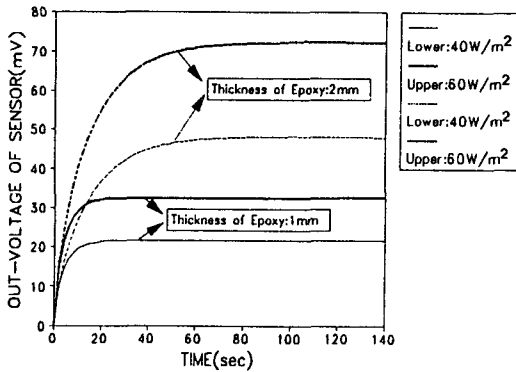


Fig. 13 Unsteady-state Out-Voltage Curve of Heat Flux Sensor

### 3.3 2次 熱流 센서의 特性

3.2.1-1節의 Fig. 9에서와 같이 一定 熱流  $40\text{Watt}/\text{m}^2$ 에서 에폭시 수지  $1\text{mm}$ ,  $2\text{mm}$ 에서의 收熱面의 溫度는 각각  $250^\circ\text{C}$ ,  $477^\circ\text{C}$ 이다. 그리고 지금까지의 結果는 니켈 측온게이지의 適用 使用 溫度를 고려하지 않고 계산한 것이다.

그러나 測溫게이지의 適用 使用 溫度를  $150^\circ\text{C}$ 로 생각할 때, 收熱面에 그대로 부착시켜 사용할 수는 없으므로 보다 높은 熱流量의 測定과 게이지의 適用 使用 溫度를 고려하여 에폭시 수지 내부에 게이지를 개재시킴으로써 熱流面으로부터 測溫게이지의 위치의 증가에 따라 時定數가 증가함을 알 수 있다.

또한, Fig. 16은 공급되는 熱流에서  $150^\circ\text{C}$ 가 되는 위치를 나타내고 있는 것으로서, 예를 들어, 收熱面에

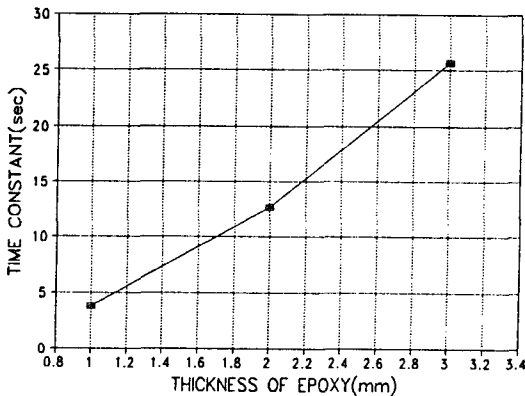


Fig. 14 Relation between Thickness of Epoxy Resin and Time Constant

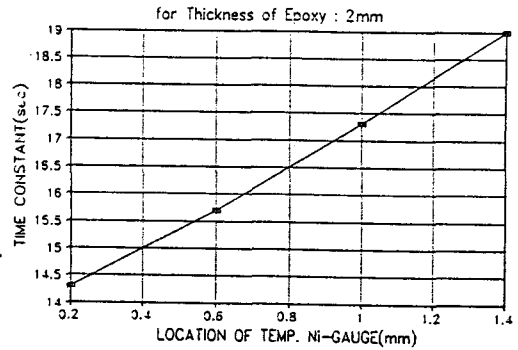


Fig. 15 Relation between Location of Ni-Gauge for Measuring Temperature and Time Constant

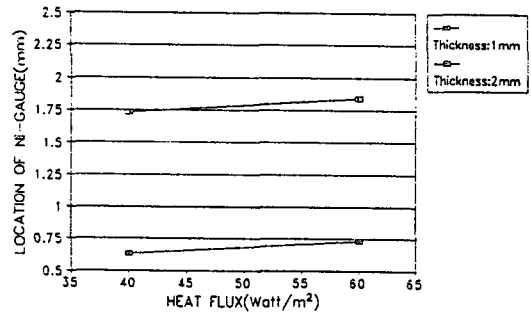


Fig. 16 Relation between Heat Flux and Proper Location of Ni-Gauge

공급되는 熱流가  $40\text{Watt}/\text{m}^2$ 까지 測定하기 위한 최소 위치는 에폭시 수지  $1\text{mm}$ ,  $2\text{mm}$ 의 경우 각각 약  $0.62$ ,  $1.73\text{mm}$ 이며, 이 위치 이후에서 게이지의 適用 使用 溫度를 만족시키게 된다.

## IV. 結 論

接着型 薄膜 測溫게이지식 熱流 센서에 관한 特性을 評價하는데 있어 심플러 알고리즘을 이용하고, 이로부터 얻은 結果에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 本 研究의 熱流 센서의 一定 熱流에 대한 溫度 分布로 熱流 센서의 定常·非定常에서의 에폭시 수지  $1\text{mm}$ ,  $2\text{mm}$ ,  $3\text{mm}$ 에 대하여 出力 電壓과 感度(각각  $0.54$ ,  $1.28$ ,  $2.13$ ,  $(\text{mV}/\text{Watt}/\text{m}^2)$ ), 應答 特性(각각  $4.2$ ,  $13.1$ ,  $26.3$ (sec))의 센서의 特性에 대하여 알 수 있었다(1次 熱流 센서).



(2) 测温 니켈 게이지의 온도 특적으로 인하여 본 열류 센서는測定熱流量에 따라使用範圍가 한정되며, 일부에 대하여測定熱流量에 따른適定位置의條件(예폭시 수지 1mm, 2mm의 경우 40Watt/m<sup>2</sup>까지測定하기 위해서는收熱面으로부터 0.62, 1.73mm 이후로게이지의位置를 선택)을 제시할 수 있었다(2次熱流 센서).

以上の結果에서 예폭시 수지의 두께가 증가하면定常狀態에서 보이는出力電壓, 感度は 좋으나 수지 내부의溫度는 증가하여測定熱流의範圍가 좁아지고, 非定常過程에서 나타나는應答性이 떨어지며, 따라서測定熱流의範圍나 빠른應答特性이 요구되면, 센서의 전체 두께나 게이지의位置 등의構造選擇이 필요함을 알 수 있다.

#### 參考文獻

- 1) 炭槽貞夫, 熱センサー入門, 哲學出版, pp123~214, 1984.
- 2) 社團法人計量管理協會, 計測センサー-利用技術研究委員會, センサーの原理と使い方(3)〈溫度·化學センサー〉, コロナ社, pp130~148, 1984.
- 3) 栗原至道, 新開發フォイル型熱流速計について, 關西造船協會誌, No. 153, pp1~8, 1974.
- 4) 金谷英一, 熱流計(2), 空氣調和, 衛生工學 52(11), pp59~65, 1978.

- 5) 韓應教外 3名, 接着形 薄膜 测温게이지의 溫度特性에 關한 研究, 空氣調和, 冷凍工學 論文集 第2卷 第4號, pp327~339, 1990.
- 6) 韓應教外 1名, Foil stain Gauge의 國産化 및 接着技術에 關한 研究, 漢陽大 産業科學研究所 論文集 第 29集, pp.145~156, 1980.
- 7) 緒方一雄, 薄膜白金溫度センサー, センサ技術2, No. 9, pp111~113, 1982.
- 8) Frank P. Incropera, David P. De Witt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, Inc., pp.61~128, 1985.
- 9) Y. L. Chan, C. L. Tien, A Numerical Study of Two-dimensional Natural Convection in Square Open Cavities, Numerical Heat Transfer, Vol. 8, pp. 65~80, 1985.
- 10) Y. L. Chan, C. L. Tien, A Numerical Study of Two-dimensional Laminar Natural Convection in Shallow Open Cavities, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 28, No. 3, pp. 603~612, 1985.
- 11) Suhas V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow.
- 12) James W. Dally, W. Dally, William F. Riley, Kenneth G. Mcconnell, Instrumentation for Engineering Measurements, John Wiley Sons, Inc., 1984.