

壹、緒論

一、緣起與目的

建築材料測試熱傳導率有兩個重要功用，其一為瞭解建材的隔熱效果，使建築人員能清楚選擇其所需要的隔熱建材，達到節約能源的效果。另外的功用在防火研究上提供熱擴散率等所需的數據。目前國外先進國家在防火研究上除了特別目的，甚少做全尺寸實屋燃燒。大多做大尺寸模型箱測試以及火災模式(Fire Modelling)研究，而材料之熱擴散數據是火災模式中重要的數據，為配合國內即將開始的火災模式研究，本計劃將請購材料熱傳導測試設備，對國內常用之建材進行測試研究。

國內經濟部中標局曾於民國 70 年公佈 CNS 7332 以及 CNS 7333 「隔熱材料之導熱係數測試定法」分別為平板比較法及平板直接法，其測試方法雖略有不同，但均由 ASTM C518, F433, E1225 等轉換而來，近年歐體公佈 ISO 8301 亦提出相似的標準測試方法，值得本研究案參考。

二、研究方法及進行步驟

本研究案將採購符合 ASTM C518 及 ISO 8301 標準之熱傳導測試儀，除了測試一般建材建立資料庫外，另外將針對國內市面上常使用之各種耐燃等級材料及未來將進行 ISO 9705 及模型箱試驗所使用之材料。同時使用中科院現有之日本京都電子出品之 Kemtherm QTM-D3 熱傳導快速測量儀進行熱傳導數據比對。

另外亦將使用熱分析儀 - 微差掃描卡熱儀 DSC 量測防火材料之比熱數值。

貳.研究內容

熱力與熱傳之概念

熱科學(Thermal science)通常指熱力學(Thermodynamics)及熱傳學(Heat transfer)。熱傳學目的在輔助僅考慮平衡系統的熱力學之不足，同時是一門可以預測、設計能量傳遞速率及熱能轉換系統之科學。

熱傳學是研究熱能的傳遞方式及預測在特定情況下，能量傳遞率的科學；也是處理熱能、動量及質量傳遞的科學。在熱力學中，由於系統(System)和外界(Environment)之間溫度差所引起的通過邊界(Boundary)之能量稱為熱(Heat)；熱本身是與過程有關的，本身無法直接測量或觀察，但是它產生的效果是可以測量並觀察的。熱之流傳如同作功的結果一樣，會使系統的內能(Internal energy)改變。熱力學研討熱能及其他形式的能之轉換的科學，研究能量轉換及物質性質，主要討論的是平衡狀況，不管熱傳速率，不計物體溫度分佈，不管物體幾何形狀和材料性質，只討論狀態(State)和過程(Process)；因此，熱力學無法提供“設計”熱系統所需要之大小、形狀等資料。而熱傳學既然是討論因為溫度差引起的

能量轉換和傳遞，它的理論必然以熱力學定律為基礎，同處理平衡或不平衡過程下之論熱能對時間變率，及熱能與時間、位置的關係，討論熱能的傳遞方式並探求系統之溫度分布；因此，熱傳學可做為熱能變化情況及熱交換器設計、熱應力分析之依據，進而提供熱能系統大小、重量、形狀、安排方式及成本計算之準則。

熱傳學的研究範圍大概可說是研究：

- 1.熱能傳遞與時間的關係。
- 2.熱能傳遞率和系統之大小、材料、形狀的關係。
- 3.系統的溫度分布(時間與空間關係)。

人類生存的環境及文明進步使用的能源有輻射能(光能及核能)、電能、化學能、熱能及機械能等，而這些能源轉換的過程中，最容易產生熱能，所以熱能成為人類所使用的能源中最普遍的形式，有能源的轉變應用與熱能的存在就有熱傳問題。縱觀熱傳研究的具體發展，第一期可說在蒸汽機、鍋爐、凝結器的使用階段；第二期則在小型高性能鍋爐、輪機之改善熱效率，以及熱能在相變化(Phase change)時迅速之傳遞、核能技術發展、太空技術、海

洋及極地等特殊狀況下之熱傳、公害防治及環境改善；第三期則為熱傳學的開花階段，此時對各種熱能器具的使用、金屬及非金屬生產加工、熱處理、鑄造、切削加工、建築、氣象、環境改善調節、農業應用、各種產品之處理及排棄物之再處理等熱傳問題。百年來，熱傳學雖有長足進步，但仍未臻理想，需要繼續進行許多研究及發展的工作。熱傳學對於能源與資源之開發使用上可說非常重要，未來在醫學、生物學、氣象學、材料科學、環境工學與人類生活科技發展有著密切的關係。

由熱力學知道，熱與功都是傳遞過程，只有系統與系統間，或系統與外界之間的相互作用才產生。熱之傳送方式一般分成三種，即傳導、對流和輻射；事實上，熱傳往往不是藉三種方式中單獨一種方式進行，經常是三種同時進行，將熱能由高溫處傳到低溫處。茲各別簡單說明三種方式如下。

(一)傳導 (Conduction heat transfer)

熱傳導是同一物體內或者相同(或不相同)物體之間的接觸，由高溫處將熱能傳到低溫處的過程。雖然實際熱傳導過程之機制"

Mechanism)相當複雜，且未完全瞭解；以目前所知而言，乃由於物體中之分子及自由電子(Free electron)受熱後之振動及漂移，藉內部分子之動能傳遞，將熱能傳到低溫處；巨觀而言，物體本身是靜止不動的。由分子動力學原理知道，物體之溫度和組成分子的平均動能成正比，物體的內能與分子平均速率及其相對位置有關，溫度愈高，分子速度越大；因此，高速分子藉彈性碰撞或擴散，而將能量由高溫處傳到低溫。因為無法察覺物質伴隨運動，所以有時把熱傳導稱為靜止系統熱傳(Stationary system heat transfer)，以別於對流之流動系統熱傳(Moving system heat transfer)。

熱傳導的數學模式，是由法國科學家傅列(J.B.Fourier)在一八二二年提出，說明熱傳導之熱傳量與熱流方向之垂直截面積及熱傳方向之溫度梯度(Temperature gradient)成正比。以 X 方向一元熱傳導為例，數學式為：

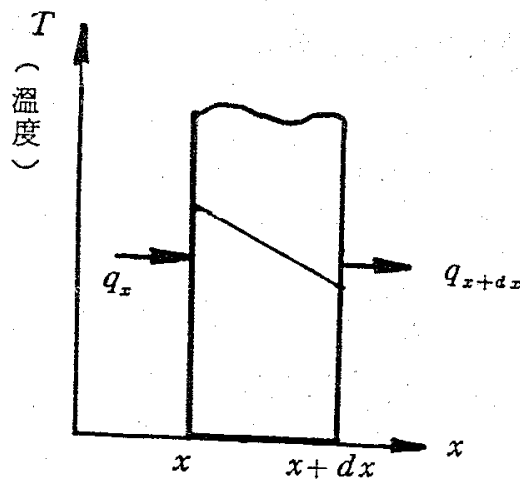
$$q_x = -A \left(\frac{dT}{dx} \right) \quad (1-1)$$

(1-1)式稱為傅列熱傳導定律(Fourier's heat conduction law)其中，

q_x : x 方向之傳導熱傳量

A : 與 x 方向垂直之截面積

dT / dx : x 方向之溫度梯度



而負號乃基於熱力學第二定律之考慮，因熱必須由高溫傳到低溫(如無外界的功加入)；因此，當 x 方向之距離增大，位置由 x 增到(x + dx)，溫度勢必逐漸降低，則熱流方向即在正 x 方向。所以，(dT/dx)前要加負號，否則，熱將由低溫傳到高溫處，而違

反熱力學第二定律。

(1-1)式改寫成：

$$q_x = -k A \frac{dT}{dx} \quad (1-2)$$

或

$$q_x = -k A \nabla T \quad (1-3)$$

其中， k 為比例常數，稱為熱傳導係數(Thermal conductivity) ($W / m - ^\circ C$) 為物質的傳輸性質，是熱以傳導方式通過材料中快慢的指標。 q 為熱傳向量， ∇T 為向量形式之溫度梯度。

$$\int_A q^n \cdot n dA = \oint_V \text{div } q^n dV$$

如 k 為常數，固體比熱 C_p (C_v)

q^n (= q / A) 為單位面積之熱傳量，由能量平衡：

如 k 為常數，固體比熱 $C_p (\approx c_v)$

， $q'' (= q/A)$ 為單位面積之熱傳量，由能量平衡：

$$\frac{\partial}{\partial t} \oint_v \rho C_p T dv + \oint_v \text{div } q'' dv = 0 \quad (1-4)$$

即

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div } q'' = 0 \quad (1-4a)$$

由 (1-3) 式
所以，

$$q'' = -k \nabla T$$

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} (-k \nabla T) = 0 \quad (1-5)$$

即

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T \quad (1-5a)$$

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T \quad (1-5b)$$

k

此處 $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$ 為熱擴散係數 (Thermal diffusivity) 為熱傳導

ρ

量和體積熱容量之比，表示物體帶走熱量快慢指標，單位為

m^2 / sec 。

其他如絕熱材料乃大多是纖維物質，其中有空隙，熱經固體纖維材料之傳導及材料空隙中空氣胞之對流及幅射，再傳到另外纖維材料。各種纖維材料之熱傳導係數。一般而言，不管是金屬

或非金屬，結構為結晶形式之 k 值較非晶質結構者大。具有方向性的材料，其 k 值依方向不同而相異，如纖維或木材；結晶材料中如有雜質則 k 值較純者為低，因此純金屬之熱傳數遠高於其合金。在物質中以固體之 k 值最大，其次為液體而以氣相之 k 值最低，但也有少數例外的。另外，經過冷作(Cold working)或核子照射後的材料其 k 值亦降低。而且，物質 k 值會隨溫度或壓力變化而改變。通常物質之熱傳導係數範圍，大致如下表所示。

一般物質之熱傳導係數 k

物 質	熱傳導係數 k	
	W/m-°k(W/m-°C)	Btu/hr-ft-°F
氣體(大氣壓)	0.0069 ~ 0.173	0.004 ~ 0.10
非金屬液體	0.173 ~ 0.69	0.1 ~ 0.40
液態金屬	8.6 ~ 76	5.0 ~ 45
非金屬固體	0.034 ~ 2.6	0.02 ~ 1.5
合 金	12 ~ 120	7.0 ~ 70
純金屬	52 ~ 415	30 ~ 240
絕熱材料	0.034 ~ 0.173	0.02 ~ 0.12

附：1W/m-°k=0.5779Btu/hr-ft-°F

熱傳導係數測定方法

一. 平板直接法

試樣：

1. 試樣需儘量取尺度，密度相同者二個作為一組。
2. 試樣之尺度依測定裝置加熱板之尺度可劃分為二種。

單位：mm

加熱板尺度		試樣尺度		
長度	寬度	長度	寬度	標稱厚度
200	200	200	200	30 以下
300	300	300	300	50 以下

3. 試樣兩面為平滑且平行之平面，對易受壓縮之材料，必要時於其周圍使用以木頭或其他熱不良導體製成之間隔片或支持架。
4. 試樣於 $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下乾燥至恒量並予測定。惟對因加熱而有變質、變形顧慮之試樣，則於不起變質、變形等溫度下予以乾燥至恒量並測定之。

5. 試樣之密度為自測定導熱係數時之體積及測定導熱係數後之質量，依下式求出。

$$\rho = \frac{W}{V}$$

式內： ρ = 密度(kg/m³)

W = 質量(kg)

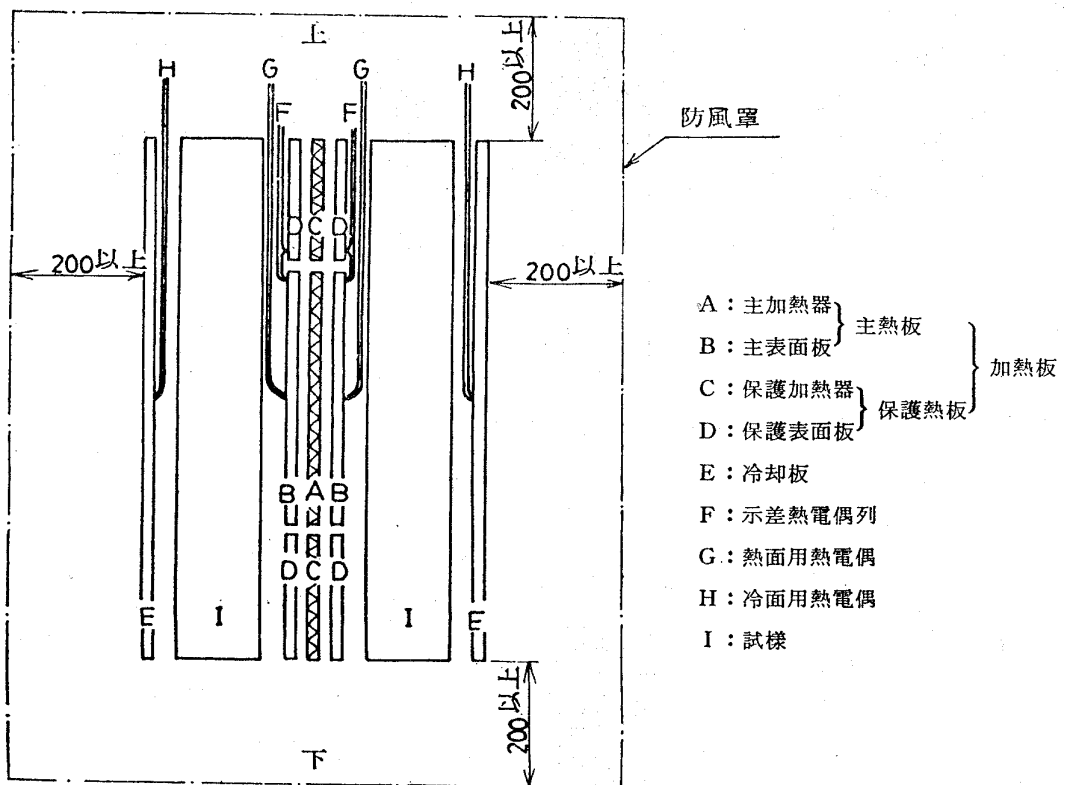
V = 體積(m³)

測定裝置：

測定裝置之主要組成如圖 1 所示，此外附屬有加熱源、冷卻源、溫度測定計器、電力測定計器及電力調整機構。

圖 1

單位：mm



加熱板：

1. 加熱板為正方形，係由主熱板及與之隔一間隙之保護熱板圍繞而成者。其尺度如下表所示。

單位：mm

試樣之標 稱厚度	加熱板尺度		主熱板尺度 (註 1)		保護熱板 之寬度
	長度	寬度	長度	寬度	
30 以下	200	200	100	100	50
50 以下	300	300	150	150	75

註 1：主熱板之尺度，為自主熱板與保護熱板間之間隙中心至中心

為止量測而得之長度，主熱板面積即以此長度為準算得。

2. 主熱板與保護熱板間之標準間隙為 3mm。
3. 主表面板及保護表面板為厚約 3mm 之金屬板，與試樣接觸之面須經髹塗或使用熱電偶用板，其放射率為 0.8 以上。
4. 主加熱器片及保護加熱器片需儘可能地薄，為能使各自表面

板均勻加熱（註 2）並個別供電之電熱器。

註 2：主表面板各點之溫度，其差不可大於試樣於穩定狀態

下兩面溫度差之 2%。且保護表面板之各點溫度，其

差不可大於試樣於穩定狀態下兩面溫度差之 5%。

5. 安裝固定示差熱電偶列。此電偶列能測出相隔開之主表面板

與保護表面板間溫度之不一致。示差熱電偶列為可得兩側間

隙周圍溫度差之積算，並能使電氣調整機構內保護加熱器之

電流控制機構正確動作而具有高感度者。

6. 組合加熱板需使兩表面板相互平行，於其表面不可有 0.1mm

以上之凹凸及翹曲。

冷卻板：

1. 冷卻板之尺度及其對應於試樣之表面狀態，需與加熱板相

同。冷卻板之間不可有間隙。

2. 冷卻板背面，須與冷卻源相連。

安裝臺：以圖 1 之配置予以固定全體時，須使用適當安裝臺。且

原則上能保持全體直立。

加熱源：

1. 加熱源係使用電力。
2. 供給主電熱器之電力，其變動須 1% 以下。

冷卻源：

1. 冷卻源為保持冷卻板較加熱板低一定溫度之裝置，冷卻冷卻板則使用周圍空氣，循環液體。又須保持高溫時，使用隔熱材料或電熱器。
2. 冷卻源須具有使冷卻板每小時之溫度變化須於穩定狀態下試樣兩面溫度差之 1% 以下之功能。

溫度及電力測定計器：

1. 溫度之測定係利用直徑 0.2mm 以下之熱電偶。
2. 熱電偶電動勢之測定，係使用能鑑別相當於穩定狀態下試樣兩面溫度差 1% 之溫度差之電力差計或溫度測定用毫伏特計。
3. 電力則用電壓計及電流計之組合，電力計或電位差計予以測定。指示計器則使用具適當刻度範圍之精密級者。

電力調整機構：通往保護電熱器之電力，須能調整成使加熱板第

5 節之示差熱電偶列溫度差之平均值於 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以

下。

測定準備及步驟：

- 1.將熱電偶之熱接點安裝於加熱板及冷卻板之表面中央各 1 處所(如圖 1 之 G , H , 計 4 處)上。使用熱電偶用罩片時，熱接點則須安裝於熱電偶用罩片(註 3)與試樣相對應表面之中央處。

註 3：熱電偶用罩片為以紙、石棉等製成厚約 0.5mm 之薄片，其尺度則與加熱板及冷卻板相同。熱電偶用罩片，係於表面板之放射率小之情況及硬質試樣而熱電偶會妨礙加熱板及冷卻板與試樣間之密著時使用。

- 2.於加熱板與冷卻板之間，如圖 1 所示，各置放 1 個試樣，並固定全體。
- 3.必要時於固定後，防止試樣側面通氣。
- 4.試樣兩面之溫度差須在溫度測定計器所能鑑別最小溫度差之 100 倍以上。
- 5.達到溫度之穩定狀態後，測定溫度及主加熱器之電力。穩定狀態係指於不變更主加熱器之設定電力下，每 1 小時試樣之

溫度差不致變動 1% 以上之狀態。

6. 每隔 30 分鐘作三次第 5 節之測定，所算得之導熱係數，其差異於 1% 以內時即結束試驗。

導熱係數之計算：

1. 導熱係數依下式計算。所得之導熱係數值係以二個試樣平均值表示之。

$$\lambda = \frac{Q}{2A} \cdot \frac{l}{\Delta \theta}$$

式內： λ = 試樣於平均溫度時之導熱係數 (kcal/mh°C) {w/mk}

Q = 主加熱器之發生熱量 (kcal/h){w}

$Q=0.860p(P\text{.....Watt})$

A = 主熱板面積 (m^2) (依加熱板第 1 節註 1 之規定)

l = 試樣厚度 (m) (二個之平均值)

$\Delta \theta$ = 兩側試樣之溫度差 (°C)

試樣之平均溫度 θ (°C)係指 $\frac{Q_1 + Q_2}{2}$ 。

θ_1 = 熱面溫度 (°C) (二個之平均值)

θ_2 = 冷面溫度 (°C) (二個之平均值)

2. 導熱係數值以二位有效數字表示之。

二.平板比較法

試樣

- 1.試樣尺度為長 $200 \pm 6\text{mm}$ ，寬 $200 \pm 6\text{mm}$ ，厚 $10 \sim 25\text{mm}$ 。厚度平面翹曲差，凹凸差為其厚度之 $\pm 3\%$ 。
- 2.試樣於 $105 \pm 2^\circ\text{C}$ 下乾燥至恒量，並予測定。惟對因加熱而有變質、變形顧慮之試樣，則於不起變質、變形等溫度下予以乾燥至恒量並測定之。
- 3.試樣之密度為自測定導熱係數時之容積及測定導熱係數後之質量，依下式求出。

$$\rho = \frac{W}{V}$$

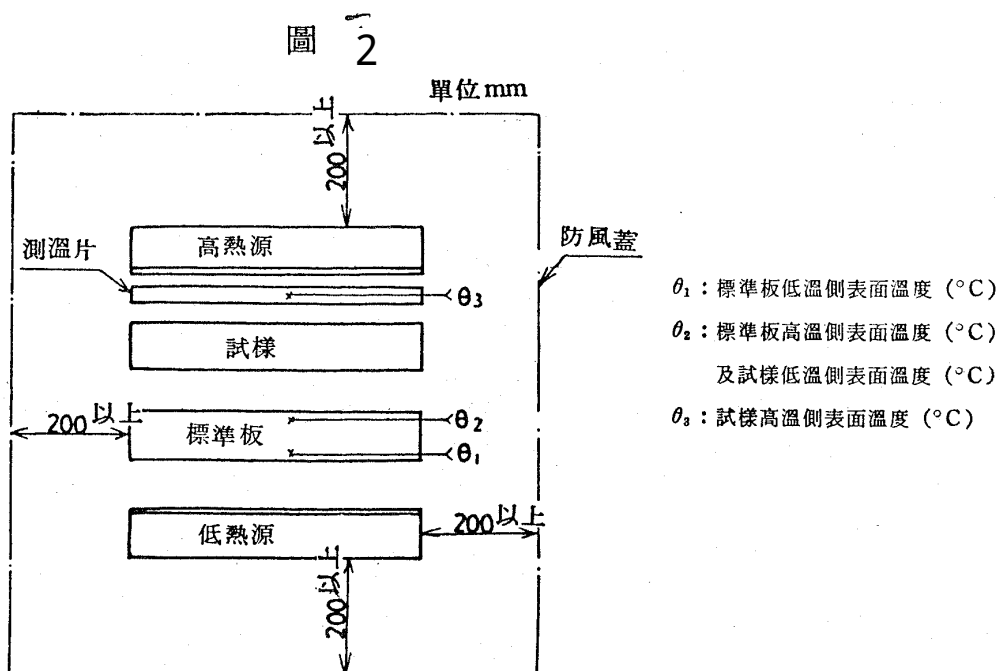
式內 ρ = 密度 (kg/m^3)

W = 質量(kg)

V = 體積(m^3)

測定裝置：

1. 則定裝置之主要構造為如圖 1 所示自下部依低熱源標準板、試樣、測溫片、高熱源之順序予以水平盛置，並堅牢固定而成。惟適應需要，亦可將標準板、試樣、測溫片依相反順序排列。



2. 標準板(註 1)則使用經認定者。

參考：所謂認定機關，係指公立試驗研究機構。

註 1：標準板為聚碳酸酯樹脂板、四氟乙烯樹脂或於其中混入適當填料者，或於玻璃棉類無機質纖維板上被覆以聚碳酸酯樹脂、四氟乙烯樹脂而成者。

標準板上須附設有二對 ϕ 0.2mm 以下之熱電偶，並能測定表面溫度。

3.測溫片(註 2)為可簡便地測定試樣表面溫度，惟亦可用其他方法代用之。

註 2：測溫片為內部附有 ϕ 0.2mm 以下之熱電偶，厚度約 0.2 ~ 0.3mm 者。其材料為玻璃棉、四氟乙烯樹脂及其他樹脂。

4.高低熱源為使其表面溫度安定於 0.1°C 公差範圍內之平面。

5.因受高熱源重疊致使試樣變形時，故利用適當補助框保持高熱源。

6.對測定裝置易受風影響之情況下，於離裝置 200mm 以上之四周處所設置遮蓋。

測定方法：

1.測定係於溫度在穩定狀態下進行，穩定狀態之判定為使標準板(θ_1, θ_2)，試樣(θ_2, θ_3)之表面溫度之變動應在下述範圍內。

($\theta_2 - \theta_1$)之每小時變動溫度

_____ 為±2%

$$\theta_2 - \theta_1$$

($\theta_3 - \theta_2$)之每小時變動溫度

_____ 為±2%

$$\theta_3 - \theta_2$$

2.標準板及試樣之兩面溫度差($\theta_2 - \theta_1, \theta_3 - \theta_2$)於3°C以上之條件時作測定。

3.測定溫度用電位差計 (註3)。

註3：溫度能正確量測時，使用何種計器均宜，惟須注意

由所用計器不同而引起電動勢及溫度間關係之不

同。

4.使用測試裝置第5節者所述之高熱源之補助框時，試樣應依規定厚度製作之。

導熱係數之計算：

1.導熱係數依下式計算。

$$\lambda = \lambda_0 \times \frac{l}{l_0} \times \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_3 - \theta_2}$$

式內： λ = 試樣於平均溫度時之導熱係數(kcal/mh $^{\circ}$ C){W/mk}

λ_0 = 標準板於平掉溫度時之導熱係數(kcal/mh $^{\circ}$ C){W/mk}

l = 試樣厚度(m)

l_0 = 標準板厚度(m)

$\theta_3 - \theta_2$ = 試樣之兩面溫度差($^{\circ}$ C)

$\theta_2 - \theta_1$ = 標準板之兩面溫度差($^{\circ}$ C)

$$\frac{\theta_2 + \theta_3}{2} = \text{試樣之平均溫度 (} ^{\circ}\text{C)}$$

$$\frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = \text{標準板之平均溫度 (} ^{\circ}\text{C)}$$

惟 θ_1 ， θ_2 ， θ_3 係使用常態下之數值。

2.導熱係數值以二位有效數字表示。

參.研究發現

利用熱傳導測試可以協助輕質骨材混凝土的研究，近來國內之建築工程逐漸趨向高層及大型。因台灣地區位於亞熱帶，氣候炎熱潮濕，一般砂石資源日漸不足，發展質輕、強度高及良好隔熱性之建材，取代部份傳統之混凝土，是近日建築業研究的良好課題，且具實用價值。例如量測不同之石材如石英砂、花崗岩、大理石等就可量出不同的 k 值，而添加料之孔隙大小也能影響 k 值之大小，是一種很方便之測試工具。

從前項研究內容中所提到熱傳導測試有平板直接法與比較法，而目前用比較法的設備較多，其原因是標準板的材質其再現性穩定，利用數學公式及電子設備的協助，可在很短的時間得到測試結果。本研究使用之日本京都電子公司(KYOTO ELECTRONICS)出品之 Kemtherm QTM-D3 熱傳導快速測量儀，就是此類型式的代表，首先將本設備做一介紹。

(1).基本原理(transient hot-wire method)

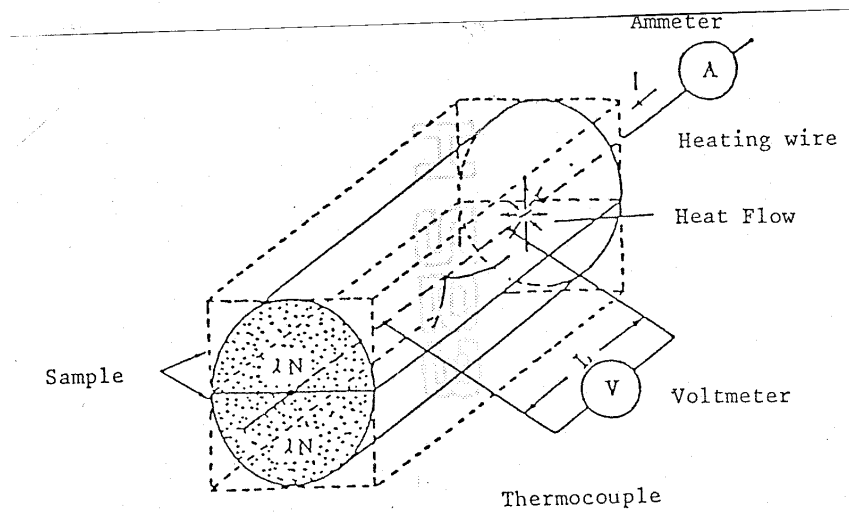


Fig.1 Conventional hot wire method

$$\lambda N = \frac{q \ln(t_2 / t_1)}{4\pi (T_2 - T_1)} = \frac{q \ln(t_2 / t_1)}{4\pi \Delta T} \dots(1)$$

$$\lambda N = 0.00277 I^2 R \cdot \ln \frac{(t_2 / t_1)}{V_2 - V_1} \dots\dots\dots(2)$$

$$q = 0.86 I^2 R \quad \text{Kcal / min}$$

I = 電流· 常數電流

$$R = \Omega / \text{m}$$

t_1, t_2 : 取樣時間 (s)

T_1, T_2 : t_1, t_2 時之溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

$$V_1 = \eta T_1$$

$$V_2 = \eta T_2$$

$\eta = \text{K}$ 熱電偶, 熱電量. $\eta = 0.0405 \text{ mv} / ^{\circ}\text{C}$

在 $-10 \sim 200^{\circ}\text{C}$

探針測量法 (Probe method)

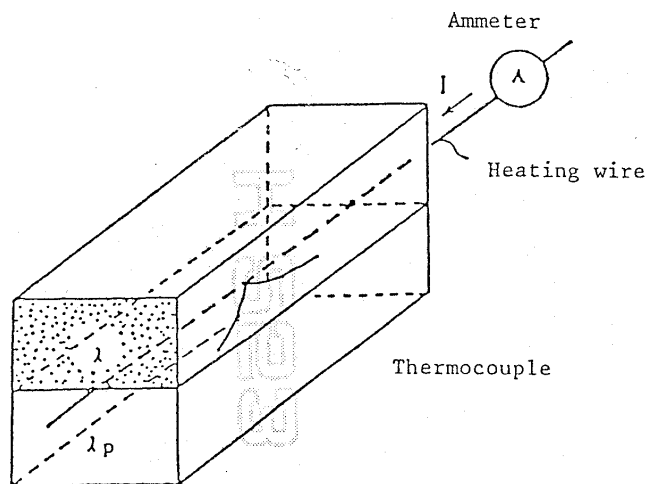


Fig. Probe method

Fig.4 Probe method

$$\lambda_p = K \cdot \frac{I^2 \ln(t_2 - t_1)}{V_2 - V_1} - H$$

K . H 為探針常數

新品名稱和功能：
處理單元：

Thermal conductivity display
1. 它顯示熱傳導度 (0~999.9, 超過範圍 → 四位閃爍)
2. 測量時顯示剩餘時間
3. 設定時顯示存數庫實數設定

Temp display
1. 它顯示樣品之溫度 (-10~200°C, 超過範圍 → 三位閃爍)
2. 設定時顯示存數數字

LED
AUTO
*OFF... MANUAL mode (在本地模式按 START 未測量)
*ON... Auto mode 按 START 開始自動重量測量

GRAD
*OFF... NORMAL mode
*ON... GRADIENT mode

NONE
*OFF... 功能鍵未連接
*ON... 在功能鍵下

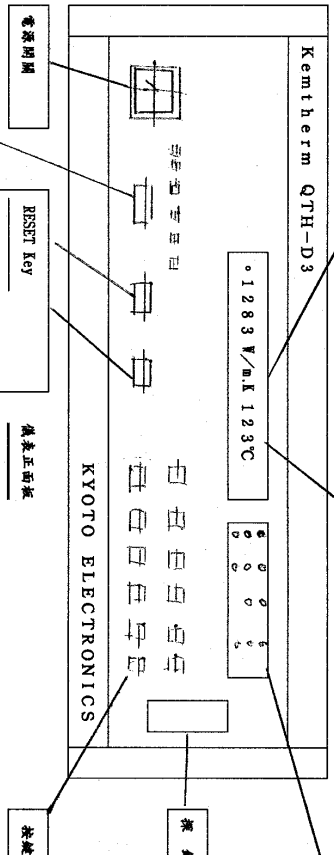
2 OVER
超過 10 W/mK

Kemtherm QTH-D3

0.1283 W/mK 12.3°C

0.0000

日 日 日 日 日 日 日 日
KYOTO ELECTRONICS



RESET Key
* 重置回定測狀態
* 顯示之資料將被清除

START Key
* 按此鍵開始測量
* 它將不開始測量
1. 存數未設定
2. 在 AUTO 時溫度不穩定

HEATER Key
選擇之電流量會有 -LED 顯示
(1) 0.25 A² (0.5 A) (4) 2.0 A² (1.4142 A)
(2) 0.5 A² (0.7071 A) (5) 4.0 A² (2.0 A)
(3) 1.0 A² (1.0 A) (6) 8.0 A² (2.8284 A)

針 針 連 接 孔

NUME
* 功能鍵或數目字鍵選擇
* 按完功能選擇 K1, H1, K2, H2, REPT, G.No, S.No 後, 按 NUME 轉換為數字功能。
* 功能鍵未選定時, 此鍵無法設立。

ENT
* 確立存數和數目字的輸入, 當功能或數目鍵。
* 如果不在功能鍵下輸入資料時, 此鍵不工作。

REPT/4
* 在 AUTO 模式下設定, 並顯示重覆測定次數
"REPT" LED 亮
數目字 4

GRAD/5
* 在 AUTO 模式下, 選擇 NORMAL 或 GRAD
* 選 GRAD 時, 樣品所有一基準溫度, 在樣品溫度梯度補償後, 存數資料處理。

K1/1
* 設定並顯示依值 k 常數
k1 亮
* 數目字 1

H1/2
* 設定並顯示依值 H 常數
H1 亮
* 數目字 2

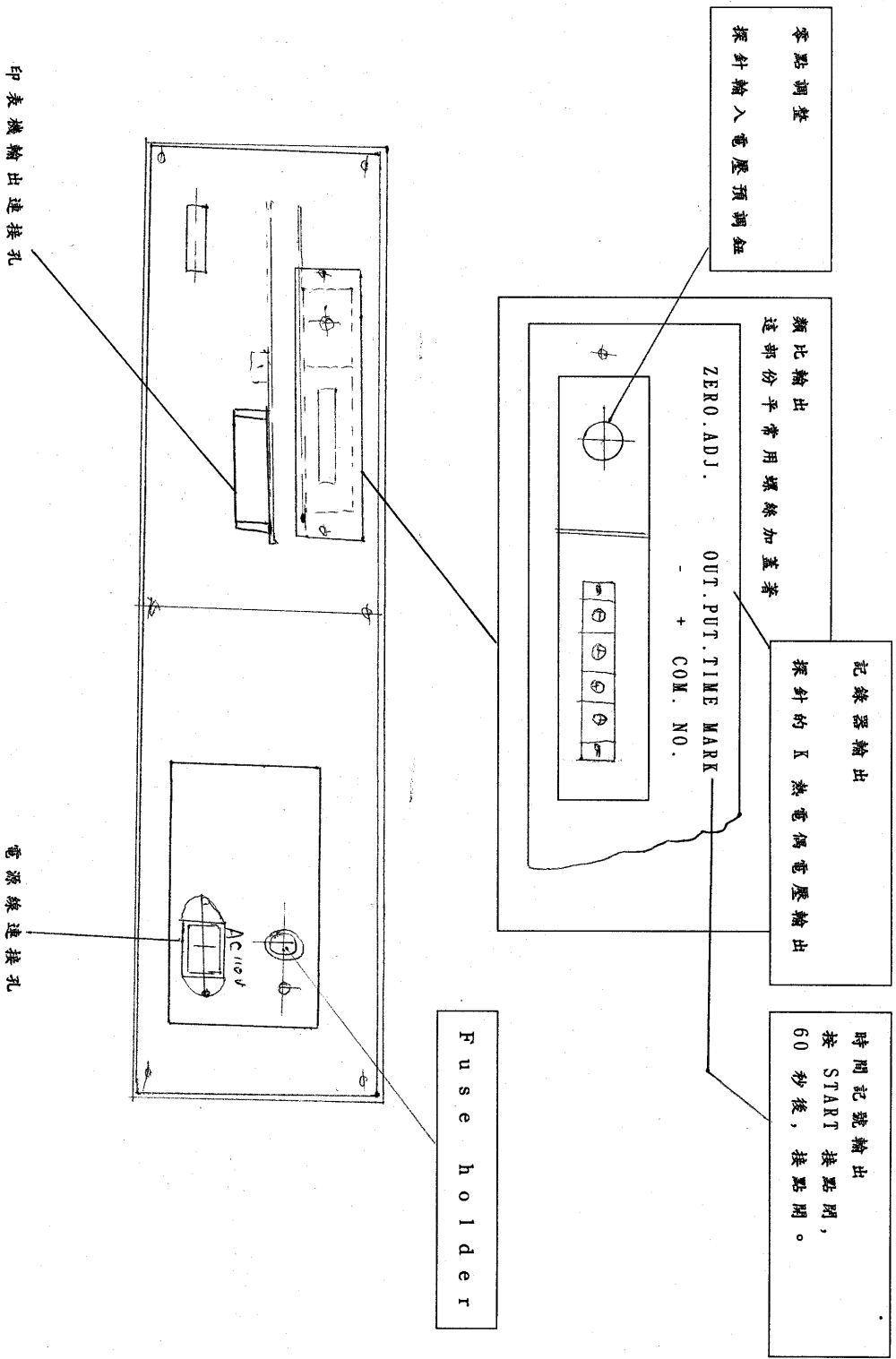
H2/7
* 設定並顯示依值 H 常數
H2 亮
* 數目字 7

K2/6
* 設定並顯示依值 k2 常數
k2 亮
* 數目字 6

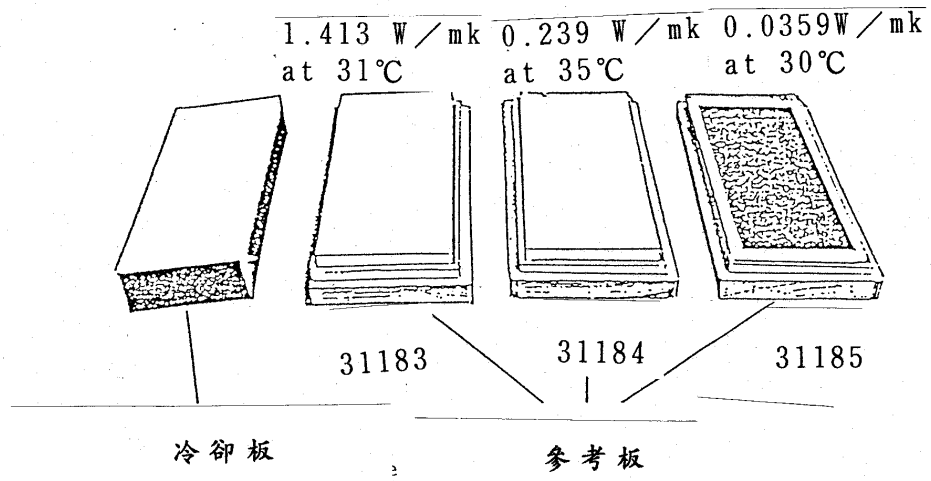
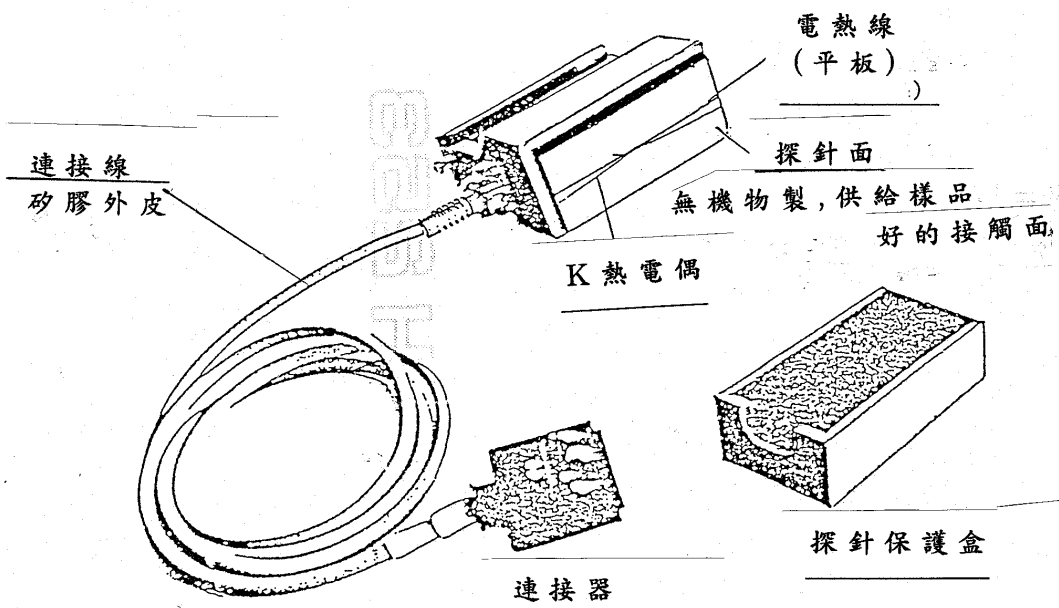
AUTO/3
* 切換 AUTO 模式
* 數目字 3

G.No./8
* 分頻編號 *** 列印出
"G.No" 燈亮
* 數目字 8

S.No./9
* 設定並指示樣品編號 ***
列印出 "S.No." 燈亮
* 數目字 9



探針和參考（標準）板



它供給探針降溫用

規格說明

測量方法：探針

熱傳導測量範圍：0.02 ~ 10 w / mk

測量溫度範圍：-10 ~ 200°C

處理單元工作環境溫度：0 ~ 40°C

準確度 (Accuracy)：< ±5% . ± 1 dig

精確度 (Precision)：< ±3% . ± 1 dig

參考板準確度：±5% ← 傳統熱線方法測量結果

類比輸出準確度：±20 μ V

測量時間：60 秒

暖機時間：打開電源後 30 分鐘

基準溫度升降梯度補償：樣品溫度變動小於 0.4°C / min,
在 AUTO GRAD 模式下自動補償.

高溫測量補償：K 熱電偶, 自動補償.

重覆測量：自動重覆 2 ~ 999.

測量模式：MAN, AUTO NOR & AUTO GRAD

常數設立範圍：K1. H1. K2. H2. GNo. SNo: 0 ~ 999,
REPT: 1 ~ 999.

耐電壓：介於外殼和電源輸入端 100V 一分鐘.

電源：AC 110V

耗電量：約 60VA

探針尺寸：約 110W×50D×100H mm

處理單元尺寸：約 435W×385D×115H mm

總重：約 8.5 Kg

測量前準備工作

1. 探針和測量樣品、標準板等，應於前一天放置於測量位置，並保持基準溫度。
2. 連接探針到處理單元機上
3. 接上電源 110V
4. 開機 30 分鐘暖機
5. 清潔樣品和參考板表面
6. 最小樣品尺寸依圖表所示，若太小可並齊放置，但應避免有空隙。
7. 確認探針常數 ← 依照探針常數卡
 - (一)按 K1 鍵 顯示 265
 - (二)按 H1 鍵 顯示 347
 - (三)按 K2 鍵 顯示 285
 - (四)按 H2 鍵 顯示 530
 - (五)按 REST 顯示消失
8. 若常數不正確，依下法輸入正確數字。
 - (一)按 K1 鍵
 - (二)按 NUME 鍵，以轉換成數字鍵.
 - (三)依常數卡輸入 K1 數字，並在溫度顯示目上，可看到數字顯字。
 - (四)按 ENT 鍵
 - (五)同上法依次設定 H1, K2 和 H2 的正確值

(六)設定後再按常數鍵檢查一次

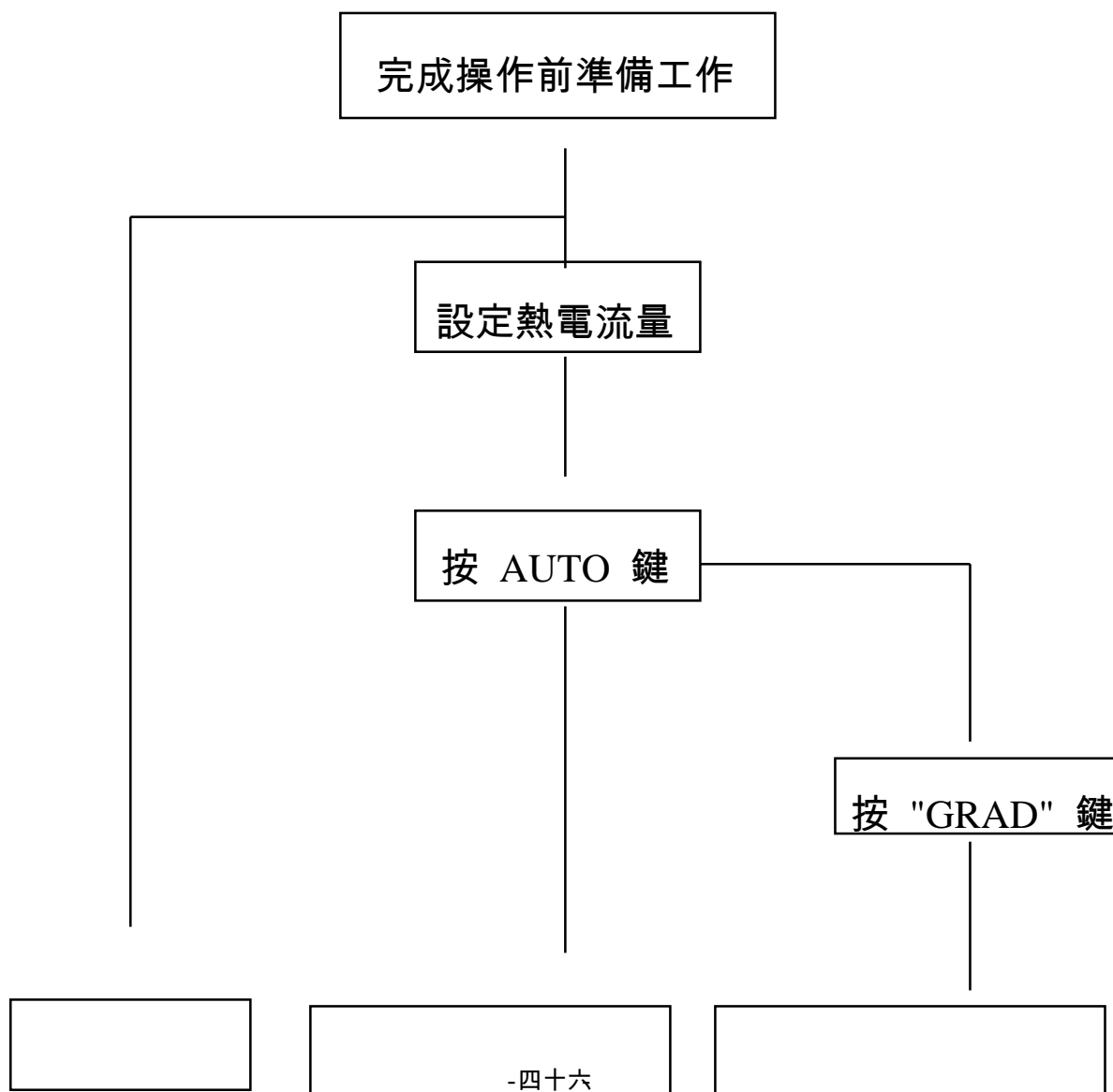
(七)按 REST 鍵

9. 若需列印，則接上印表機。

測量方式的選擇

1. 樣品溫度不穩定時用 "AUTO GRAD"
2. 樣品需重覆測量時用 "AUTO NOR"
3. 其它用 "MAN"

測量方式的選擇程序



MAN mode AUTO NOR mode AUTO GRAD mode

* 可從後面端子接一 K TYPE 溫度記錄器來確認樣品溫度穩定性。

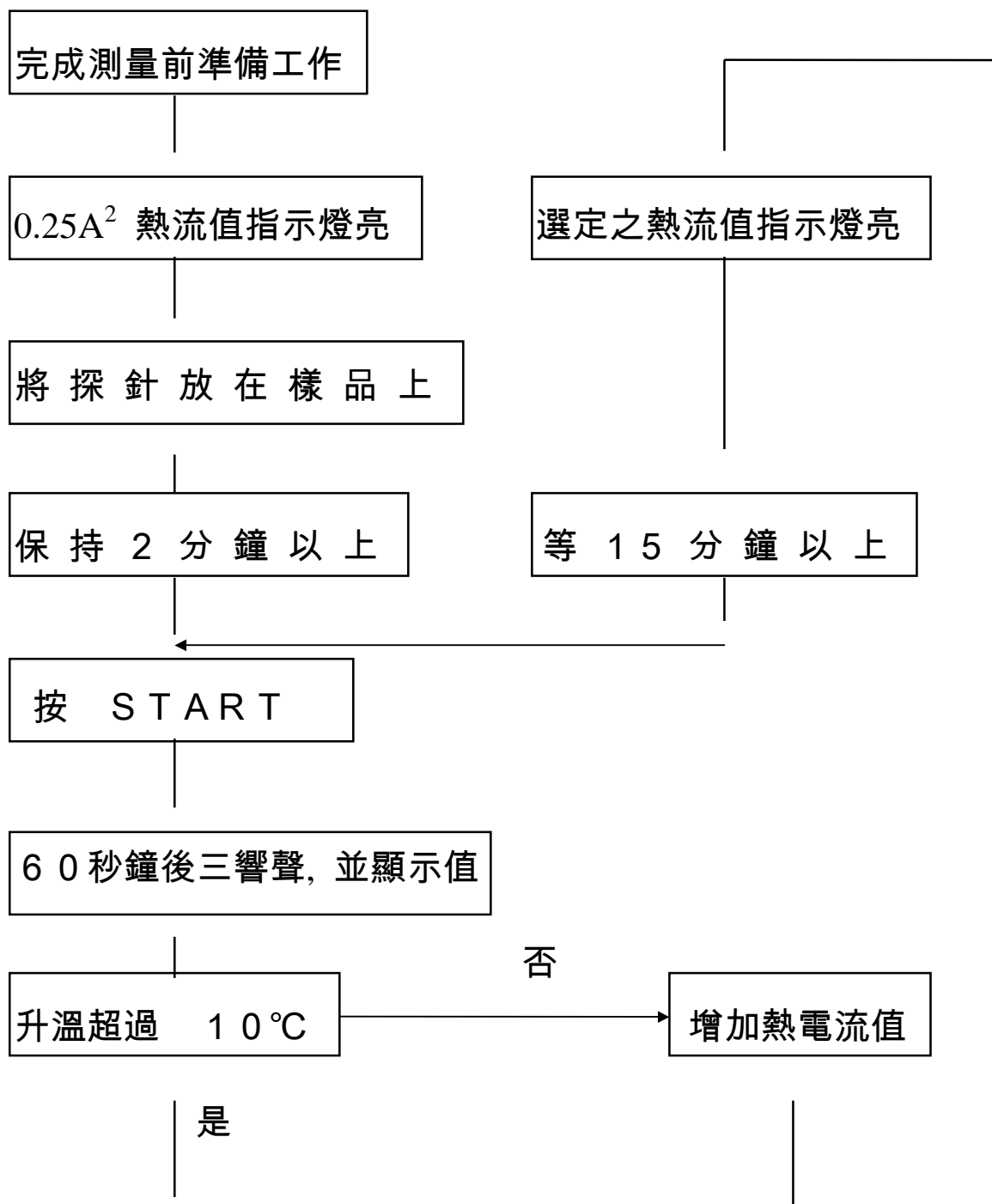
被測樣品所需之最小尺寸與熱傳導率之關係表

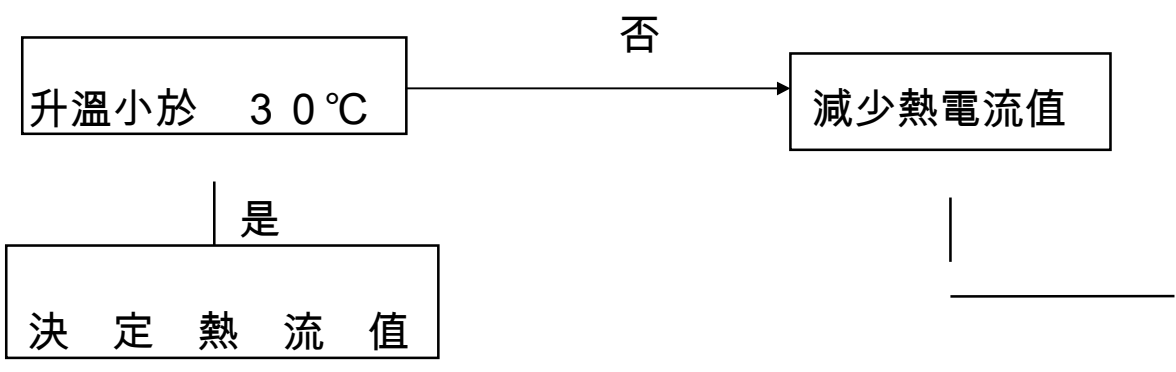
樣品之熱傳導		最 小 樣 品 尺 寸 T×W×L
w/mk	kcal/mh°C	
0.023	0.02	12×25×60
0.06	0.05	8×13×35
0.12	0.1	5×12×32
0.35	0.3	8×19×45
2.32	2.0	18×49×90
5.81	5.0	28×75×125
11.6	10	40×110×160

* 本表僅節錄關係圖中之幾點，詳細應查附圖。

熱流值的設定

在按 S T A R T 一分鐘後，應核對樣品增加的溫度，來調整熱電流值的設定 ← 在 M A N mode 下執行。

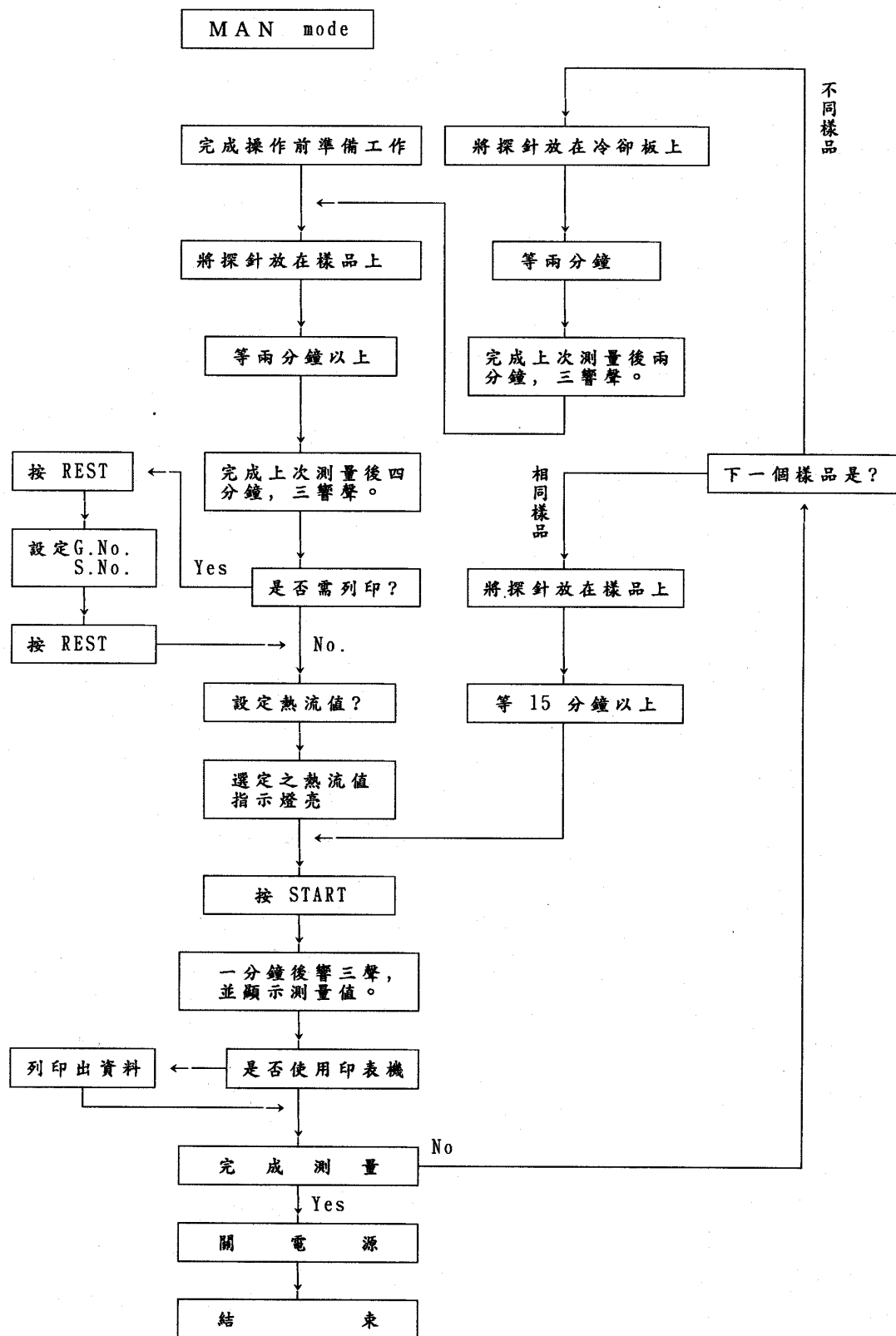


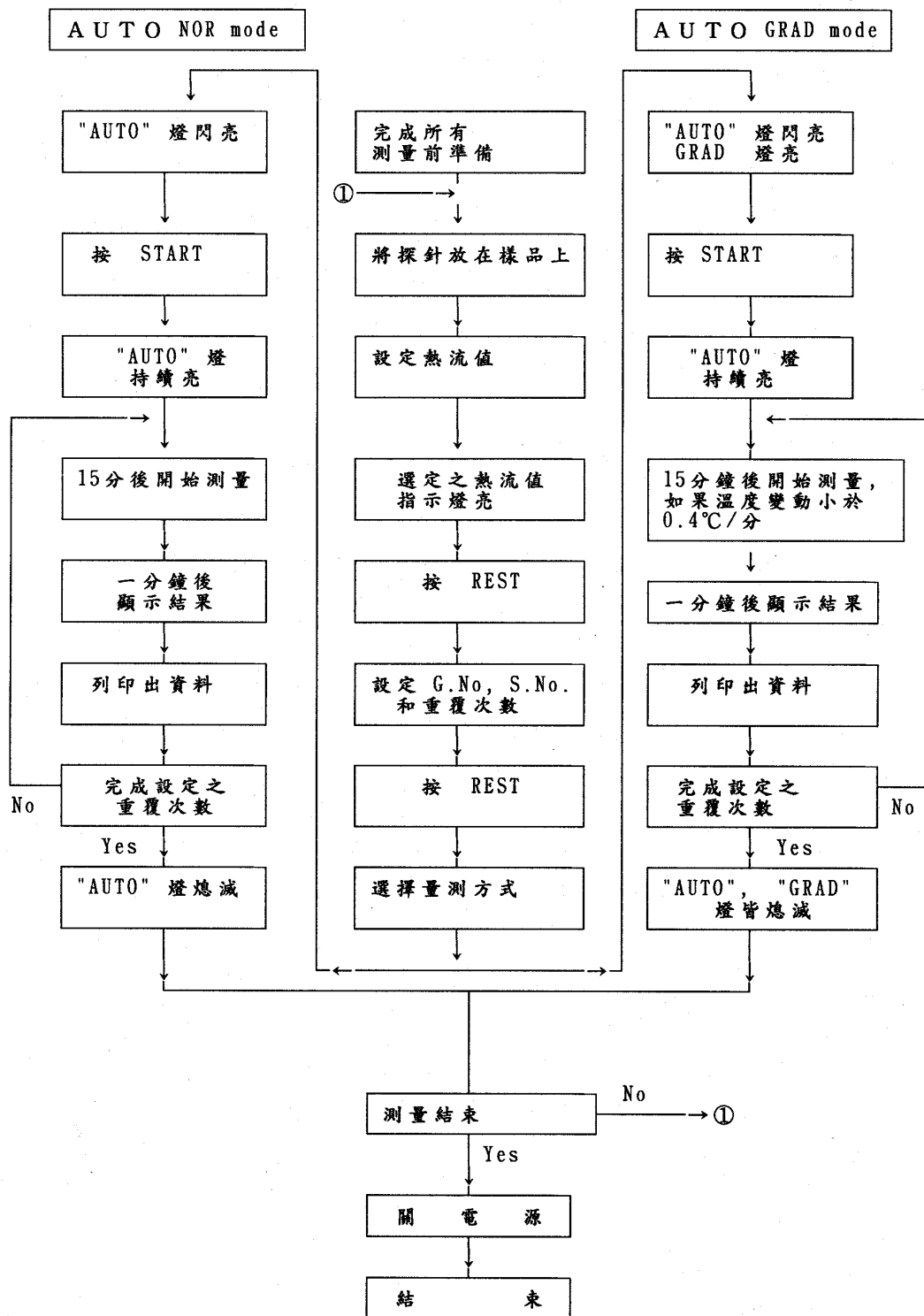


樣品之熱傳導率與熱流值之關係：

樣品熱傳導率 (w/m . k)	熱流值 (A ²)
小於 0.03	0.25
0.03 ~ 0.05	0.5
0.05 ~ 0.1	1
0.1 ~ 0.3	2
0.3 ~ 2.0	4
大於 2.0	8

熱流值應考慮溫度加諸於被測樣品，所可能產生之變化，測量時產生之溫度最高為室溫加 5 0 °C。





測量熱傳導的樣品，所需之最小尺寸與熱傳導值關係圖：

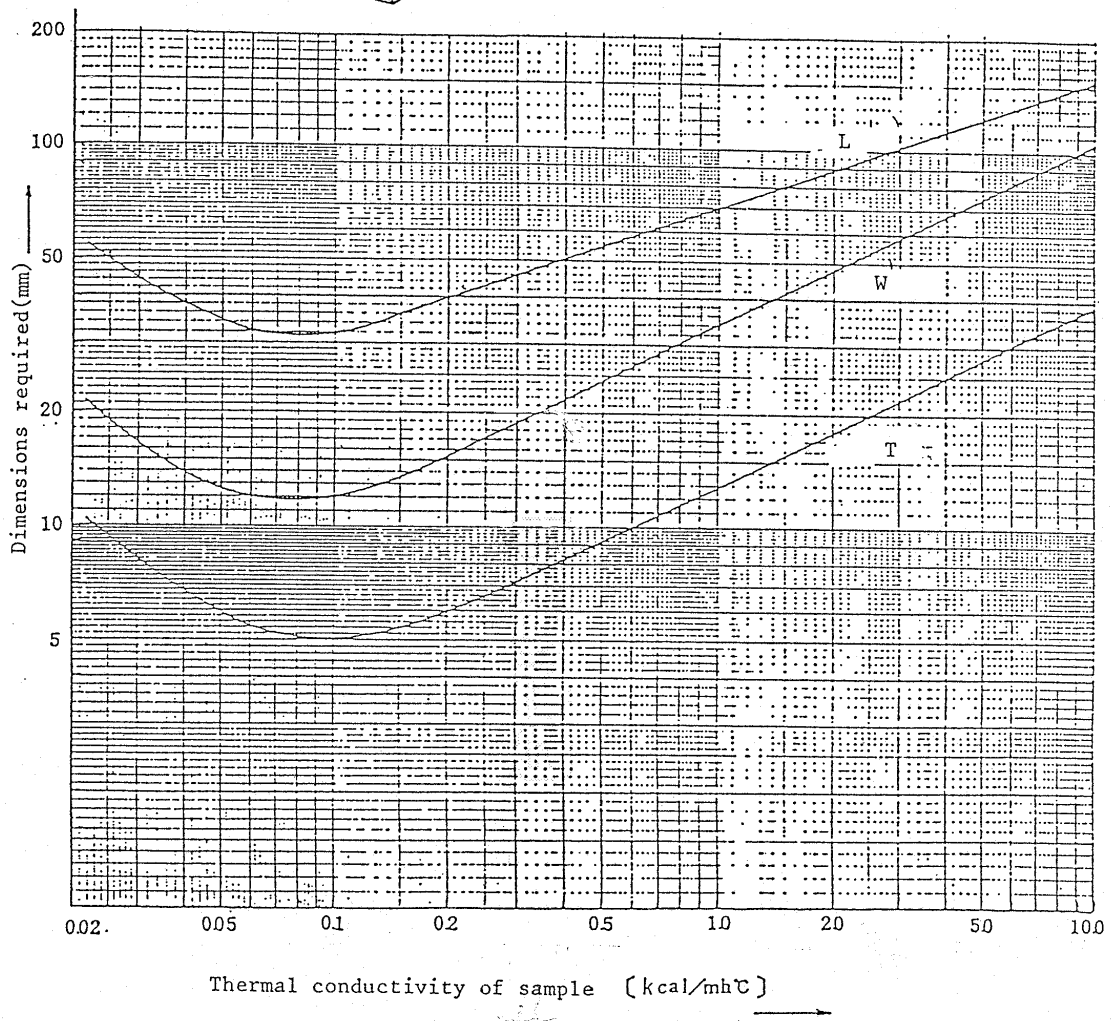
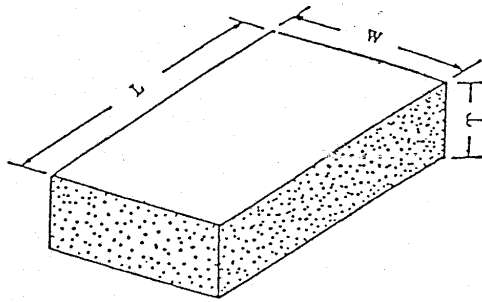


Fig Minimum dimensional requirement of sample

溫度顯示說明如下：

- (1) 溫度量測感應是一般用的 K(CA) Type 熱電偶
- (2) 測量期間 (60 秒) 所顯示溫度為升溫度數。

顯示 over 時表示：

溫度改變超過 50°C

Start 後 30 秒到 60 秒間超過 12.5°C

- (3) 60 秒鐘測量完成後，所顯示溫度為測量溫度。

設定 G.No, S.No, 和 REPT 步驟

1. 按 G.No. 鍵
2. 按 NUME. 使它從功能鍵轉換為數字鍵
3. 輸入 G.No 數字
4. 按 ENT 鍵, G.No 即被設定
5. 同前述方法, 設定 S.No 和 REPT 次數

探針常數的確認和簡單的調整

每個探針皆可使用一個標準儀器，依照它自己的常數 K1、H1、K2、H2 來測量。可是，因為長時間的使用，它們的物性可能改變，因此，確認和調整是需要的。

驗證探針常數

依照 "常數卡" 數據輸入處理機，然後重覆 3、4 次測量參考樣板。

和參考板上標示值比較熱傳導度

每個參考板的熱流量如下表：

R3-2 只需低熱流量 $0.25A^2$ ，因為它是一個低的耐熱物。雖然它依增溫範圍(10 ~ 30°C)理論求出熱流值是 $0.5 A^2$ 。

每個參考板之熱流值:

參考板	熱傳導(W / mk)	熱流值(A ²)
R 1 - 2	大約 1.0	4
R 2 - 2	大約 0.2	2
R 3 - 2	大約 0.03	0.25

常數之簡單調整法

設定常數值 $K1 = K2 (\times 10^{-4})$

$H1 = H2 (\times 10^{-4})$

重覆測量三個參考板 (標準板) 熱傳導率三次, 取平均值。

當 $\lambda = 0.02 \sim 0.2 \text{ w / mk}$ 時

$$H1' = \frac{\lambda P2(\lambda M3 + H1) - \lambda P3(\lambda M2 + H1)}{\lambda M2 - \lambda M3}$$

$$\lambda P2 + H1'$$

$$K_1' = K_1 \frac{\lambda M_2 + H_1}{\lambda M_1 - \lambda M_2}$$

當 $\lambda = 0.2 \sim 10 \text{ w / mk}$ 時

$$K_2' = K_2 \frac{\lambda P_1 - \lambda P_2}{\lambda M_1 - \lambda M_2}$$

$$H_2' = \frac{K_2'}{K_2} (\lambda M_1 + H_2) - \lambda P_1$$

$\lambda P_1 : R_1 - 2$ 標準參考板標示值 1.413 W / m.k

$\lambda P_2 : R_2 - 2$ 標準參考板標示值 0.239 W / m.k

$\lambda P_3 : R_3 - 2$ 標準參考板標示值 0.0359W / m.k

$\lambda M_1 : R_1 - 2$ 實際測量的平均值

$\lambda M_2 : R_2 - 2$ 實際測量的平均值

λ M3 : R 3 - 3 實際測量的平均值

印表機列印項目：(選購品)

GROUP No.	xxx	1
SAMPLE No.	xxx	2
CONDITION		
MODE	mmmmmm / nnnnnn	3
REPEAT	COUNT / SET : xxx / yy	4
PROBE	PDX	5
HEATER	xxx	6
DATA		
λ	xxx.xxx	7
Tm	xxx n	8
To	xxx n	9
Td	xxx n	10
T2	xxx n	11

- (1) Group No: 用 G.No 鍵輸入
- (2) Sample No: 用 S.No 鍵輸入
- (3) 測量方式: NORMAL / MANUAL, NORMAL / AUTO or GRADIENT / AUTO.
- (4) 重覆測量次數: 用 REPT 鍵輸入 (僅在 AUTO 模式)
- (5) 探針型式: QTM-PD1
- (6) 熱流值供應量

- (7) 熱傳導度測量值
- (8) 樣品溫度: $(T_0 + T_2) / 2$
- (9) 開始量測時之樣品溫度
- (10) 增加之溫度 $(T_2 - T_0)$
- (11) 按 START 60 秒後之樣品溫度

熱能之流動是由高溫端向低溫端進行，這種情況一直到低溫端昇高溫度，高溫端降低溫度達到熱平衡才停止。均勻的材質，其分子有相同之活動性，此種由分子傳熱至分子之方法稱為傳導。一般而言金屬材料為良好之熱傳導體，而氣體為較佳之熱絕緣體，常用的玻璃棉、岩棉、石棉等，因材料內部膨鬆，在細孔內有空氣而能有較低之熱傳導。

熱力學提出熱傳導率之方程式為

$$K = \alpha \cdot C_p \cdot \rho$$

K：熱傳導率

α ：熱擴散率

C_p ：比熱容量

ρ ：材料密度

在材料密度方面以材料重量除以材料體積可快速的得到數據，而比熱容量 C_p 均是以水的比熱值 1.000 做比較，比熱之數值為比熱 = 物質改變溫度一度所需的熱 / 水改變溫度一度所需的熱。近年熱分析儀進步很快，以傳統的方法非常不便，如微差掃

瞄卡熱儀(Different Scanning Calorimetry DSC)以藍寶石當標準品，利用比較法求得各種材料比熱值甚為精準快速。熱傳導測試其原理很簡單，將試樣與標準板放在高熱源與低熱源中，從得到標準板及試樣之高低溫度差，再乘以板厚度比數及標準板之熱傳導係數即可得材料之熱傳導係數，也可以直接由已知的熱源發熱量直接求得，以往英國發展之熱傳導測試均以 B.T.U 為熱量單位，而美國大力推展以 Watt 為熱量單位，公制國家均用仟卡為單位。熱傳導單位為 $1\text{W/mk} = 0.86 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$ 。

90 年代電子科技進步，傳統的量熱法費時甚久，且需利用公式計算後才能得到數值，如今測試設備在使用前先行熱機，量測前僅需 1 分鐘校正，即可在 1 分鐘後量得熱傳導係數，且樣品面積也比以往為小。

為了能連貫以往使用 ISO 5657 著火性測試儀測試數據。首先準備 ISO 5657 測試過之 11 種常用防火內裝材，以 Kemtherm QTM-D3 熱傳導快速測量儀測試熱傳導數據如下表一，另外列出一般金屬材料、非金屬材料、液體及氣體在 0°C 時之熱傳導數據如表。

表 熱傳導值測試

項次	樣品名稱	樣品熱傳導率 (W/m . k)	樣品熱傳導率 (Kcal/m . h . °C)	熱流值 (A ²)	溫度 (°C)
1	玻璃棉板	0.0332	0.0286	0.5	36
2	熱固性樹脂硬質發泡板	0.0412	0.0354	0.5	32
3	岩棉板	0.0695	0.0598	1	40
4	矽酸鈣板	0.2440	0.2098	2	36
5	紙面石膏板	0.2737	0.2354	2	37
6	蛭石板	0.2763	0.2376	2	37
7	阻燃纖維板	0.3187	0.2741	2	35
8	玻璃纖維強化塑膠板	0.3395	0.2920	4	40
9	木粒片水泥板	0.3477	0.2990	2	35
10	纖維水泥板	0.3909	0.3362	2	35
11	化粧熱固性樹脂板	0.5197	0.4469	4	38

熱傳導值測試

樣品名稱	樣品熱傳導率 (W/m . k)	樣品熱傳導率 (Kcal/m . h . °C)	熱流值 (A ²)	溫度 (°C)
玻璃棉板	0.0340	0.0292	0.5	36
玻璃棉板	0.0322	0.0277	0.5	36
玻璃棉板	0.0329	0.0283	0.5	36
玻璃棉板	0.0345	0.0297	0.5	36
玻璃棉板	0.0323	0.0278	0.5	35
平 均	0.0332	0.0286		
熱固性樹脂硬質發泡板	0.0412	0.0354	0.5	32
熱固性樹脂硬質發泡板	0.0413	0.0355	0.5	33
熱固性樹脂硬質發泡板	0.0411	0.0353	0.5	32
熱固性樹脂硬質發泡板	0.0413	0.0355	0.5	33
平 均	0.0412	0.0354		
岩棉板	0.0718	0.0617	1	40
岩棉板	0.0695	0.0598	1	40
岩棉板	0.0673	0.0579	1	40
岩棉板	0.0704	0.0605	1	40

岩棉板	0.0683	0.0587	1	40
平均	0.0695	0.0598		
樣品名稱	樣品熱傳導率	(W/m . K)	熱流值 (A ²)	溫度 (°C)
矽酸鈣板	0.2408	0.2071	2	35
矽酸鈣板	0.2480	0.2133	2	36
矽酸鈣板	0.2438	0.2097	2	37
矽酸鈣板	0.2432	0.2092	2	35
平均	0.2440	0.2098		
紙面石膏板	0.2717	0.2337	2	37
紙面石膏板	0.2770	0.2382	2	37
紙面石膏板	0.2761	0.2374	2	38
紙面石膏板	0.2699	0.2321	2	37
平均	0.2737	0.2354		
蛭石板	0.2699	0.2321	2	36
蛭石板	0.2772	0.2384	2	37

蛭石板	0.2776	0.2387	2	37
蛭石板	0.2778	0.2389	2	37
蛭石板	0.2791	0.2400	2	38
平 均	0.2763	0.2376		
阻燃纖維板	0.3251	0.2796	2	34
阻燃纖維板	0.3180	0.2735	2	35
阻燃纖維板	0.3090	0.2657	2	34
阻燃纖維板	0.3230	0.2778	2	35
阻燃纖維板	0.3182	0.2737	2	35
平 均	0.3187	0.2741		
樣品名稱	樣品熱傳導率	(W/m . K)	熱流值 (A ²)	溫度 (°C)
玻璃纖維強化塑膠板	0.3341	0.2873	4	40
玻璃纖維強化塑膠板	0.3412	0.2934	4	40
玻璃纖維強化塑膠板	0.3402	0.2926	4	41
玻璃纖維強化塑膠板	0.3381	0.2908	4	40
玻璃纖維強化塑膠板	0.3438	0.2957	4	41
平 均	0.3395	0.2920		

木粒片水泥板	0.3410	0.2933	2	34
木粒片水泥板	0.3509	0.3018	2	35
木粒片水泥板	0.3519	0.3026	2	36
木粒片水泥板	0.3436	0.2955	2	36
木粒片水泥板	0.3509	0.3018	2	36
平 均	0.3477	0.2990		
纖維水泥板	0.3909	0.3362	2	35
纖維水泥板	0.3916	0.3368	2	35
纖維水泥板	0.3891	0.3346	2	35
纖維水泥板	0.3921	0.3372	2	36
平 均	0.3909	0.3362		
化粧熱固性樹脂板	0.5165	0.4442	2	37
化粧熱固性樹脂板	0.5228	0.4496	2	38
化粧熱固性樹脂板	0.5240	0.4506	2	39
化粧熱固性樹脂板	0.5153	0.4432	2	38
平 均	0.5197	0.4469		

隔熱絕緣材料之熱傳導率(kcal/mh°C)

隔熱材料	熱 傳 導 率	
	$\frac{\text{kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$	溫度(°C)
軟木板(粗)	0.031	0
軟木板(粗)	0.035	50
軟木板(細)	0.045	0
軟木板(細)	0.050	50
玻璃棉	0.034	30
玻璃棉	0.05	0
玻璃棉	0.06	100
玻璃棉	0.07	200
石棉(綿狀)	0.132	0
石棉(綿狀)	0.139	100
石棉(板狀)	0.1 ~ 0.14	40
美國杉	0.047 ~ 0.066	0 ~ 50
毛氈(felt)	(0.031)	30
矽酸土	0.52	0
木棉	0.036	30
絲	0.04	0
絲	0.046	50
羊毛	0.33	0
羊毛	0.036	30
鋁箔	0.026	0

內空氣層 10mm	0.048	300
內空氣層 16mm	0.044	0

表二 各種材料在 0°C時的導熱度

材料	導熱度,k	
	W/m . °C	Btu/h.ft.°F
金屬：		
銀(純)	410	237
銅(純)	385	223
鋁(純)	202	117
鎳(純)	93	54
鐵(純)	73	42
碳鋼,1%碳	43	25
鉛(純)	35	20.3
鎳鉻鋼(18%鉻,8%鎳)	16.3	9.4
非金屬固體：		
石英,與輻平行	41.6	24
鎂	4.15	2.4
大理石	2.08 - 2.94	1.2 - 1.7
砂石	1.83	1.06
玻璃,窗用	0.78	0.45
楓或橡木	0.17	0.096
木屑	0.059	0.034
玻璃纖維	0.038	0.022
液體：		
水銀	8.21	0.74
水	0.556	0.327
氨	0.540	0.312
潤滑油,SAE50	0.147	0.085
氟立昂 12,CCl ₂ F ₂	0.073	0.042
氣體：		
氫	0.175	0.101
氨	0.141	0.081
空氣	0.024	0.0139
水蒸氣(飽和)	0.0206	0.0119
二氧化碳	0.0146	0.00844

比熱數值在熱傳上是一個重要的項目，材料在溫度及重量的條件下有一定之定壓比熱，測試比熱最常用之儀器為微差掃描卡計(Differential Scanning Calorimetry . DSC)，一個物質升溫受熱的熱流量(Heat Flow)輸入速率與比熱(Specific Heat . Cp)成正比。

Cp 可以下式表示：

$$\frac{dH}{dt} = mC_p \cdot \frac{dT}{dt}$$

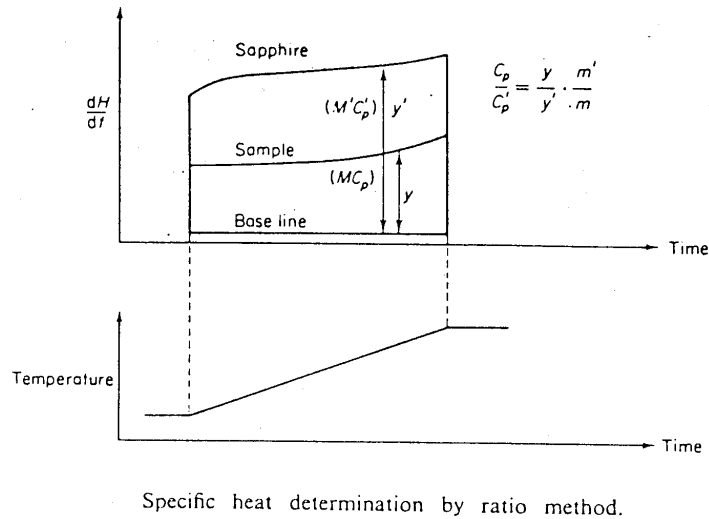
$\frac{dH}{dt}$: 熱流量的位移量

m : 測試樣品的重量(mg)

$\frac{dT}{dt}$: 升溫速率(°C / min)

一般為簡化分析步驟，在 DSC 測試中皆以藍寶石(Sapphire)

當標準品利用比較法求得比熱值，其原理可由下圖獲致清晰之概念。



儀器規格：

- 1.微差掃描卡計：PERKIN-ELMER DSC-2C。
- 2.機械式冷卻系統：PERKIN-ELMER INTRACOOILER II
- 3.操作及數據處理系統：PERKIN-ELMER 3600 Thermal Analysis Data Station(TADS)。
- 4.鋁盤：PERKIN-ELMER Part No.0219-0041。
- 5.TADS,DSC-2C Standard Software Kit：PERKIN-ELMER Part No.0419-0355。
- 6.TADS,DSC-2C/4 Specific Heat Software Kit：PERKIN-ELMER Part No.0419-0336。
- 7.Graphics Plotter 2：PERKIN-ELMER Part No.0419-0483。

測試步驟：

- 1.依據 PERKIN-ELMER Part No.990-9806、0993-9580、0993-8009 及 993-9960 等操作手冊裝置及啟動 DSC-2C、

3600 TADS 及 INTRACOOILER II。

- 2.將 DSC-2C Standard Program 及 Data Disk 置入 TADS 中，
輸入 TADS 按 return 鍵。
- 3.參照操作手冊利用 Cyclohexane(279.7°k)及 Indium(429.78°k)
熔點校正溫度及反應熱(Enthalpy)。
- 4.按 system 鍵輸入 CA 消除 TADS 功能，取 DSC-2C Standard
Program。
- 5.將 Specific Heat Program 放入 TADS 系統中，輸入 DSCI，
按 return 鍵。
- 6.當螢幕顯示 SELECT SETUP or ANALYSIS 按 GO TO SET
UP 鍵。
- 7.輸入 SAMPLE I.D.(空白試驗)及 OPERATOR I.D.(操作者姓
名)按 return 鍵。

8.按 MODIFY PARAMETERS 鍵，輸下列參數：

T INITIAL	208°k
T FINAL	335°k
HEATING RATE	5°k/min
DELAY TIME	1 min
DWELL TIME	2 min
Y - RANGE	10
SAMPLE WEIGHT	0

- 9.將 DSC-2C Sample Holder 升溫至 300°k 將兩個空鋁盤放置在
Sample holder 中 Sample 及 Reference 位置，降溫至 208°k，
DSC-2C 放在 Manual 位置。

10. 按下 START 開始測試。
11. 俟測試完後按 save 鍵，輸入 blank sample filename 代碼，以存入 blank baseline 利於後續計算，再按 return 鍵。
12. 按 go to setup 鍵，輸入 sample I.D.(樣品名稱及編號)及 operator I.D.(操作者姓名)再按 return 鍵。
13. 稱取約 20-50mg 之樣品於樣品盤中。
14. 按 modify parameters 鍵，輸入下列參數：

T INITIAL	208°k
T FINAL	335°k
HEATING RATE	5°k/min
DELAY TIME	1 min
DWELL TIME	2 min
Y - RANGE	10
15. 將 DSC-2C sample holder 之溫度控制在 300°k，放入已稱重之待測樣品，再將 sample holder 之溫度降溫至 208°k。
16. 按下 start 鍵，開始測試。
17. 俟測試完後，按 save 鍵，輸入 sample filename(樣品代碼)再按 return 鍵。
18. 按下 go to analsis 鍵，再按 recall 鍵，輸入 sample filename 及 blank filename，按 return 鍵，Specific Software 即開始運作。
19. Specific Software 解析完畢後，按 peak 鍵，輸入 Initial Temp 213°k, Final Temp 333°k 後按 return 鍵，俟解析計算完成後按 Plot Screen 鍵，即可繪出 - 60°C至 60°C比熱圖及平均比

熱值於記錄紙上。

- 20.按 results 鍵，輸入 T Initial : 213k 及 T Interval : 5 的溫差值。
- 21.按 Plot Calculation 鍵，即可印出 - 60°C至 60°C每隔 5°C，各個溫度之比熱值。
- 22.重複上述(12)以後之步驟即可執行另外一次測試。一個試樣之比熱值一般皆以三次測試平均值為原則。

將前項 11 種材料，依序測試，數據如後 11 頁所列：