

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學科(二)

032912

「冷窗洞避」---涼感百葉窗吸熱管簾之阻熱及散熱探討

學校名稱：臺中市私立弘文高級中學

作者： 國二 賴妍蓁 國一 林岱萱 國二 詹茵竹	指導老師： 賴玉艷
---	------------------

關鍵詞：涼感管簾、熱阻、散熱

摘要

炎熱的夏天，因熱浪來襲導致中暑身亡的案例層出不窮。2022 年台灣兒童事故案件中，車內及屋內反鎖案件暴增 4.1 倍；美國每年平均有 38 個 15 歲以下兒童死於車內反鎖！長時間處於密閉的車內可能使弱勢族群造成中暑、缺氧窒息或生命威脅。因此，我們決定先從窗簾著手改善，因為窗簾是陽光從窗戶射入的第一個屏障，本研究為解決室內的高溫環境，以「管狀窗簾」為填充容器，添加六種涼感物質，探討其阻熱及散熱效果。研究結果為：碳化矽管簾的阻熱效果最好，而奈米銀管簾具最佳的散熱效果。未來，希望能應用於日常生活中，例如：車輛隔熱材料、建築的隔熱材料、熱保溫杯具、冷凍食品包裝、電子產品散熱材料等，以達到節能減碳目標。

壹、研究動機

曾在網路上看見一則駭人的新聞，炎熱的夏天早晨，一位父親送三個女兒去托兒所上學，而把 2 歲的女兒遺忘困在車上，因車內溫度過高，導致中暑身亡。這樣的案例，在夏天層出不窮。澳洲、日本等其他國家也都有相同案例；2022 年台灣兒童事故案件中，車內及屋內反鎖案件暴增 4.1 倍，美國每年平均有 38 個 15 歲以下兒童死於車內反鎖！長時間處於密閉的車內可能使幼兒或寵物等弱勢族群造成中暑、缺氧窒息或生命的威脅，所以我們決定先從窗簾著手改善，因為窗簾是陽光從窗戶射入的第一個屏障，我們想藉此解決室內的高溫環境，希望先找到可以阻熱降溫的材料，以「管狀窗簾」為填充容器，探討其阻熱及散熱效果，並應用於日常生活中，例如：車窗隔熱、建築材料...等，讓車內或室內的溫度能在外部高溫的環境下不飆升甚至降低，以減少熱污染對人類造成的傷害。



▲圖 1-1 來源：常春月刊

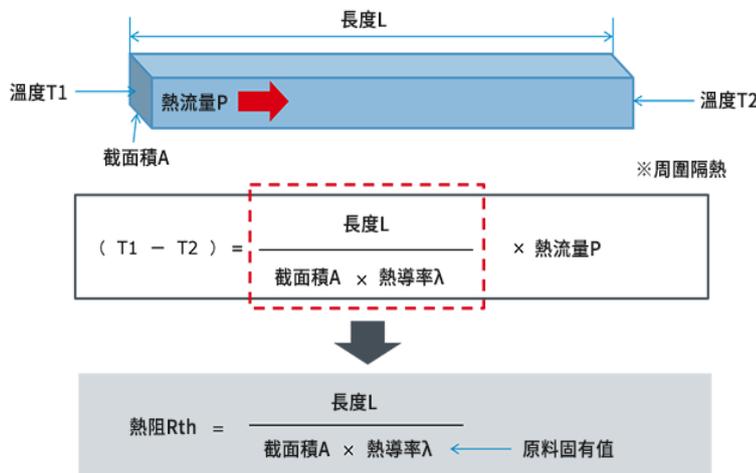
貳、文獻探討和研究目的

一、文獻探討

(一)熱阻

1.傳導中的熱阻(thermal resistance)

熱傳導是指物質間、分子間的熱能行動，熱阻是表示熱量傳遞難易程度的數值。計算方式為任意兩點之間的溫度差除以兩點之間流動的熱流量（單位時間內流動的熱量）而獲得的值。熱阻值高意味著熱量難以傳遞，而熱阻值低意味著熱量易於傳遞。這種傳導方式的熱阻如下圖和公式所示。（電源設計技術資訊網站，2021年）



傳導中的熱阻隨著物體截面積的增加或長度的縮短而下降。用來求得 $(T_1 - T_2)$ 的公式，最終變為熱阻 $R_{th} \times$ 熱流量 P 。

2.靜止液體中的對流熱阻

靜止液體中的對流熱阻是指在靜止的液體中進行熱傳遞時所需要克服的阻力。在靜止的液體中，熱量只能通過熱傳導的方式進行傳遞，因此熱阻通常很高，並且隨著距離的增加而增加。在液體中熱量的傳遞速度取決於溫度差，熱傳導性質和液體的特性等因素。當液體被加熱時，液體的密度會減小，因此會產生對流現象。對流的產生可以幫助提高熱傳遞速度，進而降低熱阻。在靜止液體中的對流熱阻通常比對流液體中的熱阻高。這是因為在靜止液體中，對流現象比較弱，熱傳遞主要依靠熱傳導，而熱傳導的速度較慢，因此熱阻較高。（Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S, 2007年）

(二)傅立葉導熱定律(Fourier's Law Of Heat Conduction)：

在導熱現象中，單位時間內通過給定截面的熱量，正比例於垂直於該截面方向上的溫度變化率和截面面積，而熱量傳遞的方向則與溫度升高的方向相反。(中文百科知識，2022 年)

固體內部從高溫區域向低溫區域的熱通量 (Heat Flux)，與溫度梯度 (Temperature Gradient)、物質熱傳導係數成正比，基本公式為：傳導熱通量 = - (熱傳導係數) × (溫度梯度)。溫度梯度簡言之便是導熱體兩端的溫度差。熱的傳導作用，主要由溫度梯度、傳熱 (截) 面積、傳導率等因素決定，而熱傳導量可由下列基本公式求之：(警大二技，2016 年)

$$q = -KA \times \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

q=熱傳導量 (W)；
K=熱傳導係數；
T=溫度； X=距離 (m)；
A=垂直於傳熱方向之截面積 (m²)

因此，本研究為瞭解管簾的阻熱效果，將計算熱傳導係數(K)，可直接反映物質的特性；由於熱源是固定的(Q 固定)，所以根據 Fourier 第一熱傳定律，可以將 K 與溫度做連結，以測量溫差(ΔT)反推不同物質的 K 值。

(三)牛頓冷卻定律(Newton's law of cooling)：

溫度高於周圍環境的物體向周圍媒質傳遞熱量逐漸冷卻時所遵循的規律。當物體表面與周圍存在溫度差時，單位時間從單位面積散失的熱量與溫度差成正比，比例係數稱為熱傳遞係數。是傳熱學的基本定律之一，用於計算對流熱量的多少。(百科知識，2022 年)

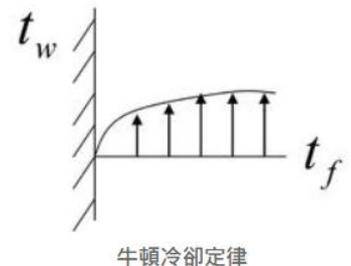
如右圖所示：

溫差 $\Delta t = |t_w - t_f|$

$q = h\Delta t$

$\Phi = qA = Ah\Delta t = \Delta t / (1/hA)$

其中的 $1/hA$ 稱為對流傳熱熱阻
字母代碼：
q 為熱流密度
h 為物質的對流傳熱係數
Φ 為傳熱量
A 為傳熱面積



(四)奈米流體的特性與應用

奈米流體學是在流體中加入懸浮的固體金屬粒子，比一般的流體有更明顯的熱傳增強特性。為一項創新的熱傳應用技術，主要是將小於 40nm 的奈米粒子分散於工作流體中，提升原本工作流體的熱傳特性。一般而言，固相粒子比液相之工作流體有較大之熱傳導係數，分散相固體粒子若為奈米尺度，不但解決傳統固、液混合相流動所造成之壓阻上升、碰撞侵蝕及粒子結塊等問題，同時可以提升較理論預測達 10 倍之熱傳導效應，有效增加熱傳率。(周榮源，2016 年)

(五)本實驗所使用之管簾填充物質的熱傳導係數 (Heat Transfer Coefficient)比較表

物質名稱	熱傳導係數(W/mK)	特性與應用
對照組(空氣)	0.024	空氣調節系統。
木醣醇(Xylitol)	0.200	奈米涼感纖維膜。
蘆 薈	0.030	蘆薈凝膠具有抗炎和退熱及散熱作用，常用於皮膚曬後修補。
薄荷腦	0.450	溶於酒精，具有舒涼感，作用於皮膚或粘膜，有清涼止癢作用。
奈米銀(Ag) (水溶液)	400	流體中加入懸浮的固體金屬粒子，比一般的流體有更明顯的熱傳增強特性，常做為抗菌噴劑、塗料、紡織品專用。
碳化矽(SiC)	100	碳化矽是一種半導體材料，由矽和碳原子的平衡混合物組成，應用於汽車剎車、渦輪機和鋼混料的組成部分。
石 墨(C)	2000	石墨用做聚合物混合物的添加劑，以提高其導熱效能，例如：電池。

二、研究目的

本研究希望以具有涼感能力之物質改質，製造出具有涼感及隔熱效果的百葉管簾。以下為本研究探討目的：

(一)製造具涼感及阻熱效果的百葉管簾實驗

- 1.研究不同填充物質對熱傳導和散熱的影響，並選擇適當的材料進行製作
- 2.製作不同管徑大小的百葉管簾，以測試其涼感和阻熱效果

(二)涼感百葉管簾的阻熱效果測試

- 1.測量不同管徑大小的百葉管簾的前後側溫度，分析比較其差異
- 2.計算不同填充物質的百葉管簾的前後側溫度差，探討其阻熱效果

(三)涼感百葉管簾的散熱效果探討

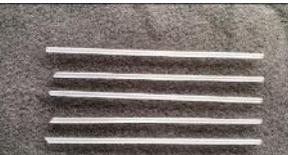
- 1.比較不同材料的百葉管簾樣本在散熱效果和涼感效果方面的表現
- 2.了解其適用範圍

參、研究設備及器材

一、研究設備

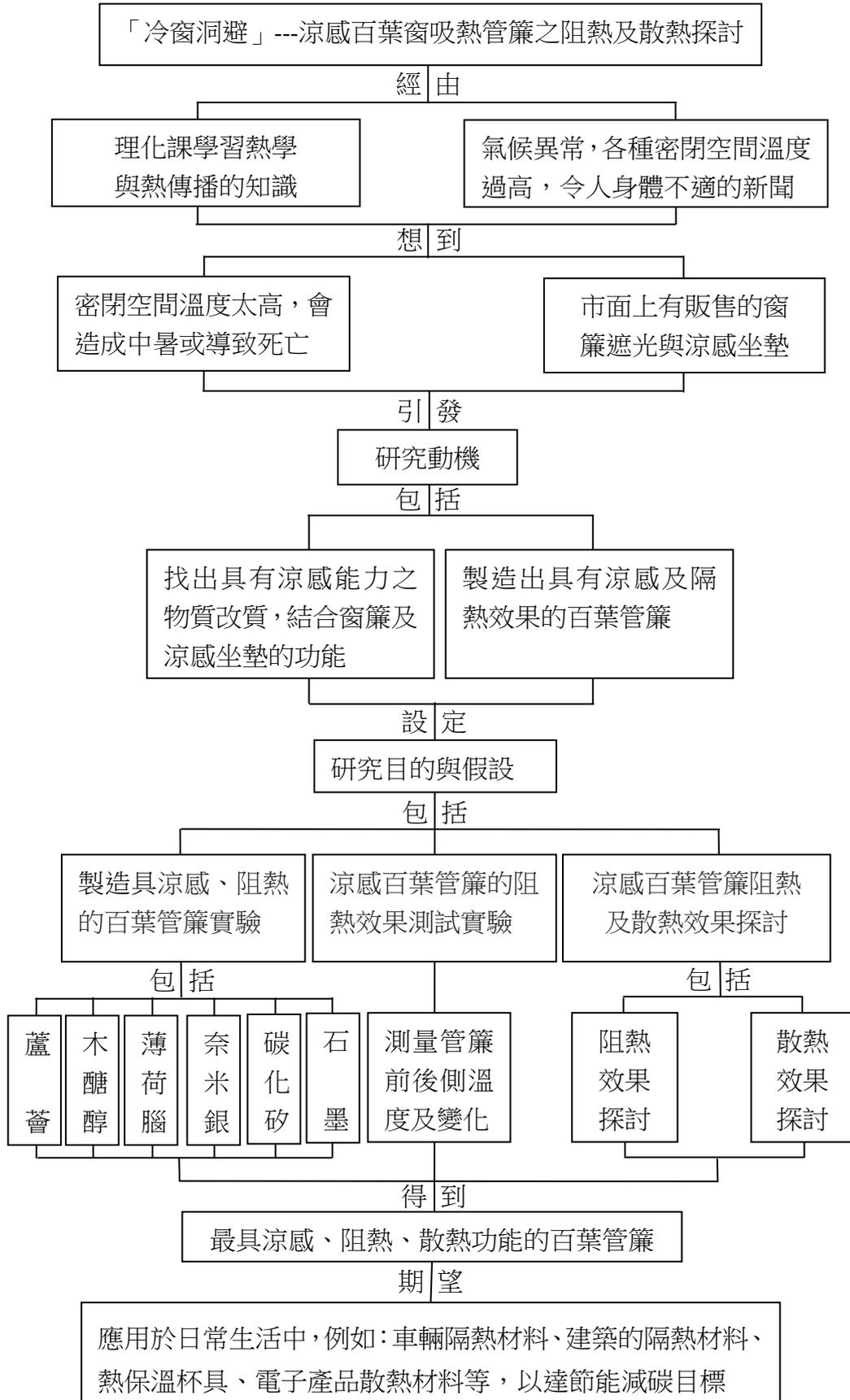
項目	名稱	圖示	項目	名稱	圖示
1	電子溫度計		3	溫度測量箱	
2	電子天平		4	光源	

二、藥品及器材

項目	藥品名稱	規格及圖示	項目	器材名稱	規格及數量
1	薄荷醇/1L		7	熱熔膠條	
2	蘆薈/300ml		8	熱熔膠槍	
3	木醣醇/500ml		9	注射針筒/3cc	
4	奈米銀/200ml		10	口徑 3mm 吸管	
5	碳化矽/1kg		11	口徑 6mm 吸管	
6	石墨/1kg		12	口徑 8mm 吸管	

肆、研究過程及方法

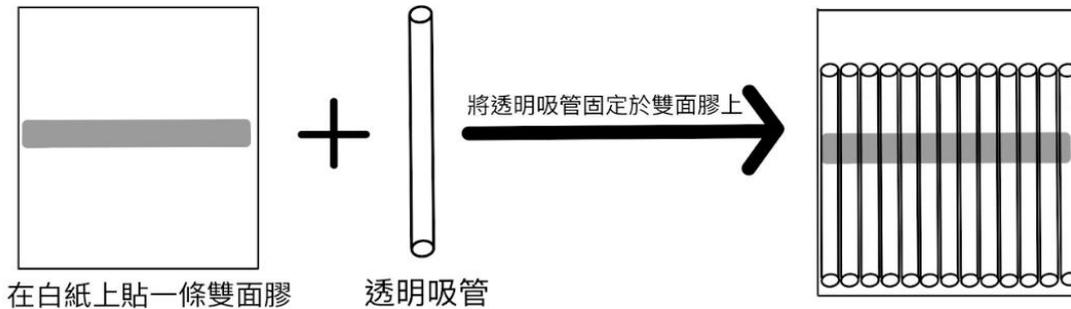
一、實驗流程圖



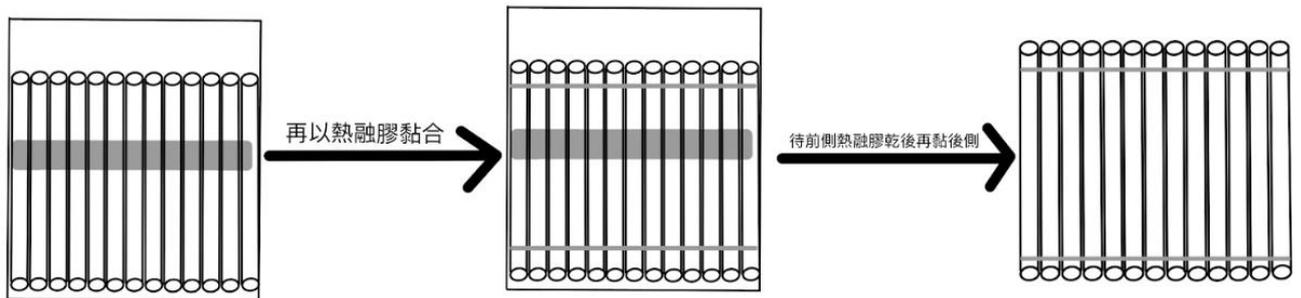
二、涼感百葉管簾的隔熱效果測試實驗

(一)製作對照組及實驗組管簾

1. 將口徑 3mm/6mm/8mm、長 21cm 的吸管固定黏貼於電腦卡紙上，再以少許熱熔膠於接近底部及上方管口處黏貼成窗戶大小的管狀窗簾，如下圖步驟 I。



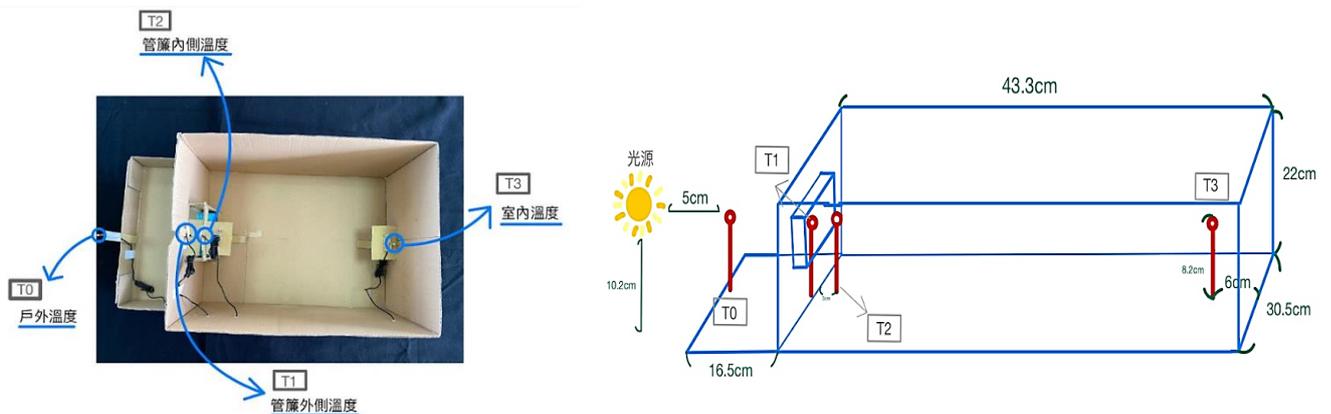
2. 待管簾前側熱熔膠凝固後，將管簾翻面，黏貼後側固定，如步驟 II。



3. 取步驟 2 的管簾，其中一端以熱熔膠封口後備用。
4. 對照組管簾-取步驟 3 所完成之不同口徑 3mm/6mm/8mm 管簾作為對照組。
5. 實驗組管簾-依序在各管中以注射針筒注入 30% 的木糖醇，將每管填充至全滿備用。
6. 重複步驟 4，以 30% 的薄荷腦/pH3~5 的蘆薈液/200ppm 的奈米銀/石墨/碳化矽，分別取代 30% 的木糖醇進行實驗。

(二)製作實驗測試箱

1. 取 43.3cm*30.3cm*22cm 的回收紙箱，於前側距離底部 5cm 中央處，裁剪一個 9.5cm*9.5cm 的窗口。
2. 在窗口前側 16.5cm、窗口、窗口後側 3cm 及窗口後側 37.3cm 四處，分別架設 T0、T1、T2 及 T3 四支電子溫度計，其示意圖及實驗測試箱如下圖。



三、涼感百葉管簾的阻熱效果測試

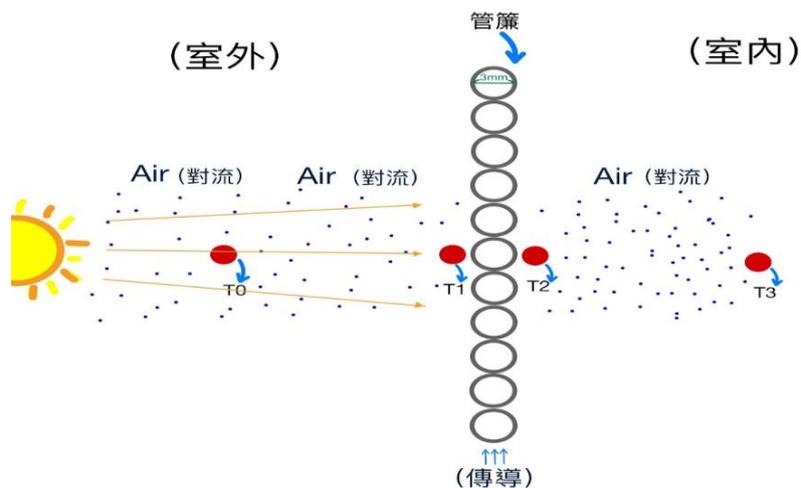
(一) 固定的光源照射下，對照組百葉管簾的前後側溫度測量

將 T1 控制起始溫度為 25.5°C，放入三種不同管徑(3mm/6mm/8mm)的對照組管簾，每隔 3 分鐘紀錄 T0、T1、T2 及 T3，實驗記錄總時間為 21 分鐘，作為阻熱效果探討依據。

(二) 固定的光源照射下，實驗組百葉管簾的前後側溫度測量

將 T1 控制起始溫度為 25.5°C，放入不同管徑(3mm/6mm/8mm)、分別含六種不同的填充物質(蘆薈/木醣醇/薄荷腦/奈米銀/碳化矽/石墨)的實驗組管簾，每隔 3 分鐘紀錄 T0、T1、T2 及 T3，實驗記錄總時間為 21 分鐘，作為阻熱效果探討依據。

(三)本研究所使用之實驗箱及溫度測量示意圖如下：



四、涼感百葉管簾阻熱及散熱效果探討

(一)比較不同填充物質的管簾其阻熱及散熱效果

1.變因分析：不同填充物質的熱傳導和散熱性能可能會受到其成分和結構的影響，百葉管簾的形狀和大小可能會影響其表面積和體積比，進而影響熱傳導和散熱的效果，測試時的環境溫度、濕度、風速等條件可能會影響熱傳導和散熱的效果。故影響變因有：管簾管徑大小、表面織布材質、內裝吸管種類、填充物質、照光面積、光源

(1)控制變因：管簾管徑大小、表面織布材質、內裝吸管種類、照光面積、光源

(2)操作變因：填充物質

(3)應變變因：T0、T1、T2 及 T3

2.從各種條件的管簾所測得的實驗數據紀錄，轉換成溫度對時間關係圖

3.再由關係圖變化，待熱平衡時，計算管簾前後側的 $\Delta T(^{\circ}C) = \overline{T1} - \overline{T2}$ ，根據傅立葉導熱定律推論比較管簾的阻熱及散熱效果。

(二)比較不同管徑的管簾其阻熱及散熱效果

1.變因分析：管簾管徑大小、表面織布材質、內裝吸管種類、填充物質、照光面積、光源

(1)控制變因：填充材質、表面織布材質、內裝吸管種類、照光面積、光源

(2)操作變因：管簾管徑大小

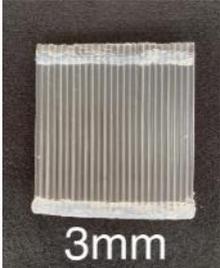
(3)應變變因：T0、T1、T2 及 T3

2.從各種條件的管簾所測得的實驗數據紀錄，轉換成溫度對時間關係圖

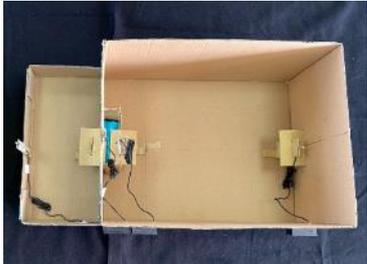
3.再由關係圖變化，待熱平衡時，計算管簾前後側的 $\Delta T(^{\circ}C) = \overline{T1} - \overline{T2}$ ，根據傅立葉導熱定律推論比較管簾的阻熱及散熱效果。

五、實驗操作過程

(一)製作對照組及實驗組管簾

吸管固定黏貼於電腦卡紙	以熱熔膠黏貼底部及上方	其中一端以熱熔膠封口
		
3mm 管簾	6mm 管簾	8mm 管簾
 3mm	 6mm	 8mm

(二)製作實驗測試箱之三視圖

前視圖	右視圖	俯視圖
		

(三)填充實驗組管簾(以木醣醇/奈米銀/碳化矽為例)

填充 30%的木醣醇管簾	填充 200ppm 的奈米銀管簾	填充碳化矽管簾
		

(四)實驗過程溫度測試

1.溫度測試步驟

管簾放入前	管簾放入中	溫度觀察記錄
		

2.對照組及實驗組溫度測試過程

對照組 3mm 管簾	對照組 6mm 管簾	對照組 8mm 管簾
		
木醣醇管簾	薄荷腦管簾	蘆薈管簾
		
奈米銀管簾	石墨管簾	碳化矽管簾
		

伍、研究結果與討論

一、涼感百葉管簾阻熱及散熱效果探討

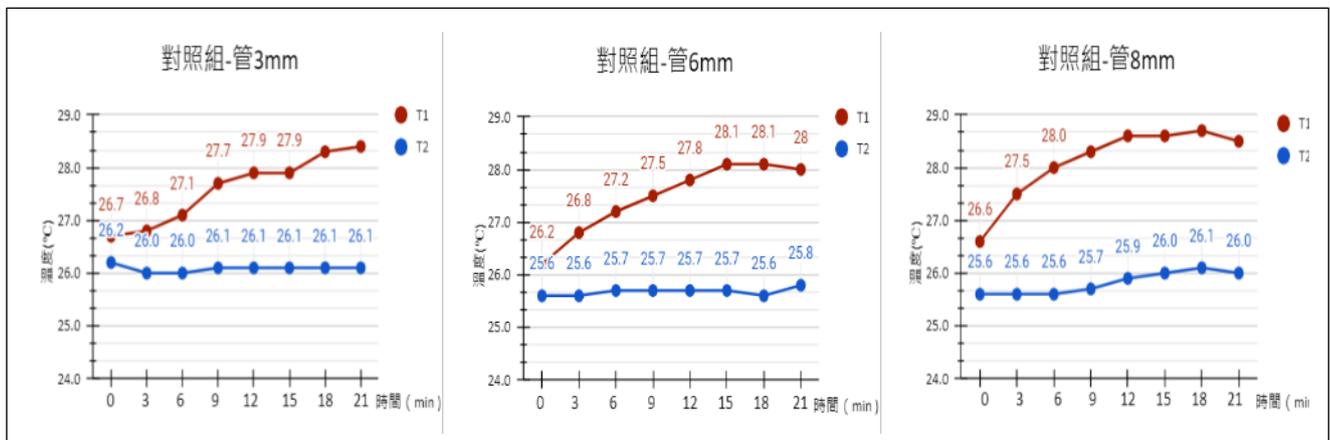
在固定的光源照射下，測量對照組百葉管簾的 T0、T1、T2 及 T3 溫度，並記錄於表格中，再繪製溫度對時間關係圖，結果如下：

(一)對照組管簾之實驗數據及溫度對時間關係圖

1.對照組管簾之實驗數據

對照組	溫度計	0min	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min
3mm	T0	30.6	30.9	31.0	31.1	30.1	29.2	31.6	32.5
	T1	26.7	26.8	27.1	27.7	27.9	27.9	28.3	28.4
	T2	26.2	26.0	26.0	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
	T3	25.4	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3
6mm	T0	30.6	29.5	30.5	30.6	31.5	30.3	30.2	30.3
	T1	26.2	26.8	27.2	27.5	27.8	28.1	28.1	28.0
	T2	25.6	25.6	25.7	25.7	25.7	25.7	25.6	25.8
	T3	24.7	24.8	24.9	24.9	24.9	24.8	24.8	24.7
8mm	T0	31.0	30.6	29.8	31.8	32.6	32.9	32.2	32.5
	T1	26.6	27.5	28.0	28.3	28.6	28.6	28.7	28.5
	T2	25.6	25.6	25.6	25.7	25.9	26.0	26.1	26.0
	T3	24.7	24.8	24.9	24.9	25.0	25.1	25.2	25.1

2.對照組管簾之溫度對時間關係圖



3.實驗討論

隨著對照組管簾置入窗戶時，T1 的溫度逐步上升，T2 的溫度些微的下降，3 分鐘後 T2 已經達到穩定的溫度。當管徑越大，T2 達到穩定溫度的時間越長。由實驗結果可得知，對照組三種管徑的 T1 部分則是 15 分鐘後達到穩定的溫度。所以我們會以 15、18、21 分鐘之 T1、T2 平均值，作為計算 ΔT 的依據，以探討管簾的阻熱及散熱效果。

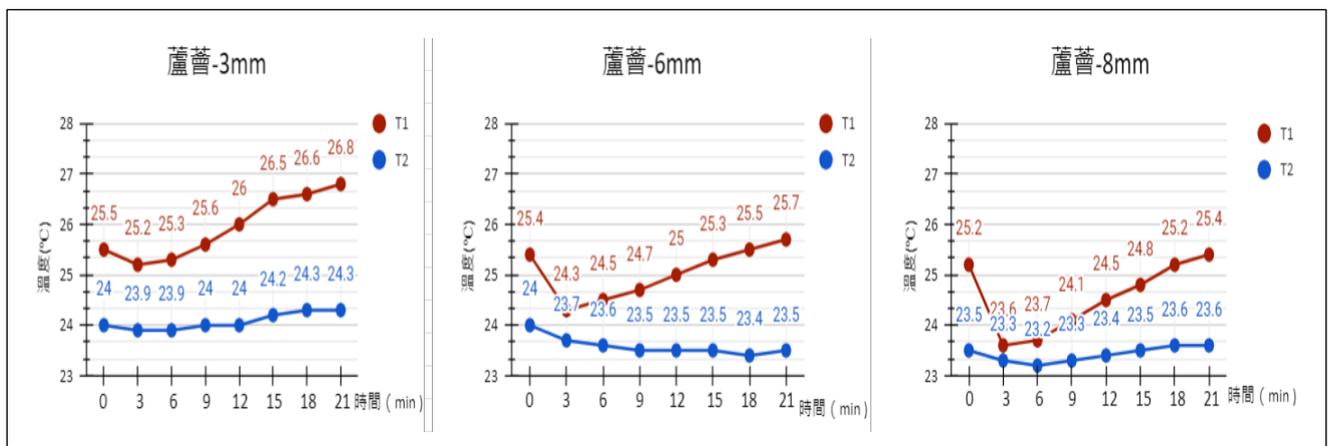
(二)實驗組-蘆薈管簾之實驗數據及溫度對時間關係圖

在固定的光源照射下，測量實驗組-蘆薈百葉管簾的 T0、T1、T2 及 T3 溫度，並記錄於表格中，再繪製溫度對時間關係圖，結果如下：

1.實驗組-蘆薈管簾之實驗數據

蘆 薈	溫度計	0min	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min
3mm	T0	31.5	28.9	30.5	31.9	32.4	32.2	32.5	33.0
	T1	25.5	25.2	25.3	25.6	26.0	26.5	26.6	26.8
	T2	24.0	23.9	23.9	24.0	24.0	24.2	24.3	24.3
	T3	23.7	23.7	23.6	23.6	23.7	23.8	23.8	23.8
6mm	T0	29.0	28.9	29.9	30.8	29.8	30.2	32.1	23.0
	T1	25.4	24.3	24.5	24.7	25.0	25.3	25.5	25.7
	T2	24.0	23.7	23.6	23.5	23.5	23.5	23.4	23.5
	T3	23.7	23.6	23.4	23.4	23.2	23.2	23.1	23.2
8mm	T0	30.8	30.0	32.2	33.5	33.4	33.7	35.2	35.4
	T1	25.2	23.6	23.7	24.1	24.5	24.8	25.2	25.4
	T2	23.5	23.3	23.2	23.3	23.4	23.5	23.6	23.6
	T3	23.2	23.1	23.7	23.2	23.2	23.4	23.4	23.4

2.實驗組-蘆薈管簾之溫度對時間關係圖



3.實驗討論

隨著填充蘆薈的管簾置入窗戶時，我們觀察到三種管徑的 T1 溫度會先下降，與對照組不同，另推測可能因為管徑大以及蘆薈具有降溫的效果所致。到 3 分鐘時才開始上升；而 T2 的溫度則些微的下降。當管徑越大，T2 達到穩定溫度的時間也越長。三種管徑的 T1 部分，在時間 15 分鐘後，雖然溫度上升趨緩，但仍未達平衡，故參照對照組計算 ΔT 的方式，也以 15 分鐘後的 T1、T2 平均值作計算。另外，**隨管徑愈大而 T1 平衡的溫度相對低，加上 T2 的溫度大致無變化，可得知填充蘆薈的管簾具有降溫涼感的效果。**

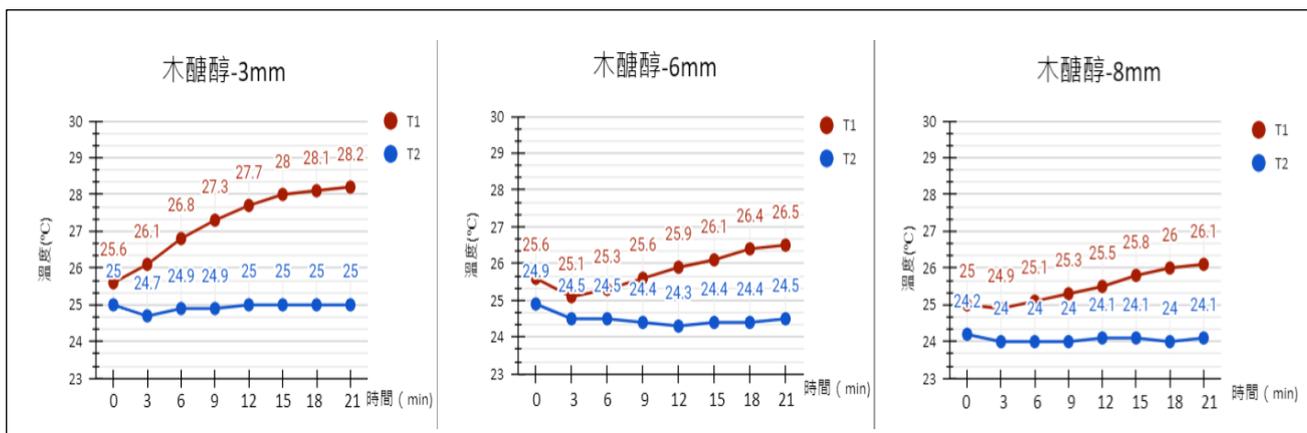
(三)實驗組-木醣醇管簾之實驗數據及溫度對時間關係圖

在固定的光源照射下，測量實驗組-木醣醇百葉管簾的 T0、T1、T2 及 T3 溫度，並記錄於表格中，再繪製溫度對時間關係圖，結果如下：

1.實驗組-木醣醇管簾之實驗數據

木醣醇	溫度計	0min	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min
3mm	T0	29.3	29.9	32.1	32.2	31.5	30.5	30.4	30.4
	T1	25.6	26.1	26.8	27.3	27.7	28	28.1	28.2
	T2	25.0	24.7	24.9	24.9	25.0	25.0	25.0	25.0
	T3	24.4	24.4	24.6	24.6	24.6	24.6	24.5	24.5
6mm	T0	28.6	28.8	29.7	29.1	29.1	30	31.4	29.8
	T1	25.6	25.1	25.3	25.6	25.9	26.1	26.4	26.5
	T2	24.9	24.5	24.5	24.4	24.3	24.4	24.4	24.5
	T3	24.3	24.3	24.3	24.2	24.1	24.1	24.1	24.1
8mm	T0	28.6	29.9	30.3	31.6	31.4	31.6	32.0	31.9
	T1	25.0	24.9	25.1	25.3	25.5	25.8	26.0	26.1
	T2	24.2	24.0	24.0	24.0	24.1	24.1	24.0	24.1
	T3	24.1	24.0	23.9	23.9	23.9	23.8	23.8	23.8

2.實驗組-木醣醇管簾之溫度對時間關係圖



3.實驗討論

在填充木醣醇的管簾置入窗戶後，可觀察到管徑 6mm 及 8mm 管簾的 T1 溫度會先下降，與管徑 3mm 的不同，推測可能因為管徑大以及木醣醇亦具有與蘆薈相同的降溫的效果。約 3 分鍾後溫度才開始上升；三種管徑的 T1 部分，隨管徑愈大而平衡的溫度相對低，加上 T2 的溫度大致無變化，可得知填充木醣醇的管簾亦具有降溫涼感的效果。

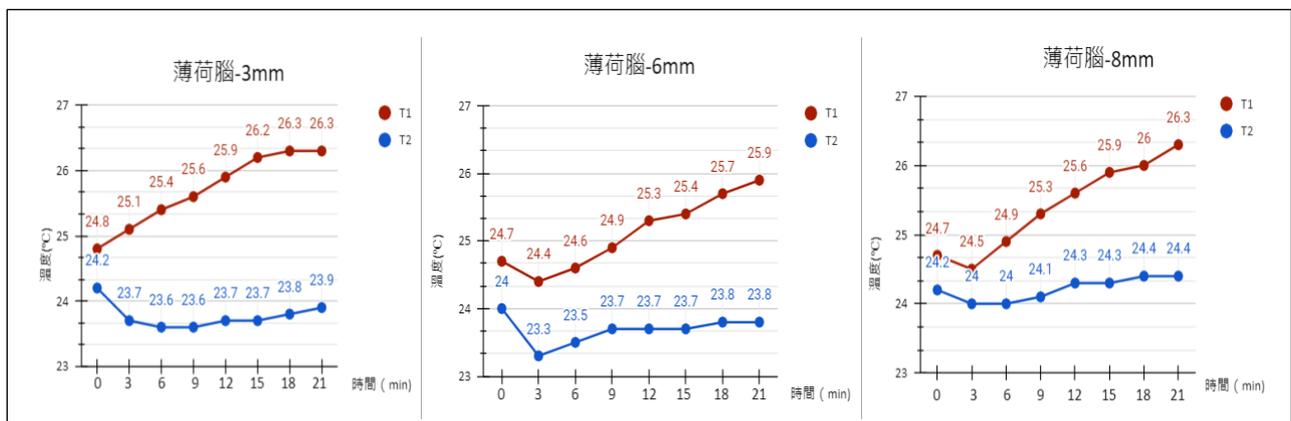
(四)實驗組-薄荷腦管簾之實驗數據及溫度對時間關係圖

在固定的光源照射下，測量實驗組-薄荷腦百葉管簾的 T0、T1、T2 及 T3 溫度，並記錄於表格中，再繪製溫度對時間關係圖，結果如下：

1.實驗組-薄荷腦管簾之實驗數據

薄荷腦	溫度計	0min	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min
3mm	T0	35.5	33.7	36.4	34.6	34.6	36.4	37.6	39.7
	T1	24.8	25.1	25.4	25.6	25.9	26.2	26.3	26.3
	T2	24.2	23.7	23.6	23.6	23.7	23.7	23.8	23.9
	T3	23.5	23.3	23.2	23.2	23.2	23.2	23.3	23.3
6mm	T0	32.1	33.0	33.6	33.0	34.4	33.0	32.4	34.6
	T1	24.7	24.4	24.6	24.9	25.3	25.4	25.7	25.9
	T2	24.0	23.3	23.5	23.7	23.7	23.7	23.8	23.8
	T3	23.6	23.5	23.5	23.4	23.5	23.5	23.5	23.5
8mm	T0	29.9	30.7	31.4	32.3	31.6	31.6	32.5	32.9
	T1	24.7	24.5	24.9	25.3	25.6	25.9	26.0	26.3
	T2	24.2	24.0	24.0	24.1	24.3	24.3	24.4	24.4
	T3	24.0	24.0	24.0	24.0	24.1	24.1	24.1	24.1

2.實驗組-薄荷腦管簾之溫度對時間關係圖



3.實驗討論

在填充薄荷腦的管簾置入窗戶後，可觀察到管徑 6mm 及 8mm 管簾的 T1 溫度亦是先下降，與管徑 3mm 的略有差異，推測可能因為管徑大以及薄荷腦亦具有與木糖醇及蘆薈相同的降溫的效果。約 3 分鍾後溫度也開始上升；三種管徑的 T1 部分，隨管徑愈大而平衡的溫度相對低；T2 的溫度則是管徑 3mm 的下降變化較大一些，可得知**填充薄荷腦的管簾亦具有降溫涼感的效果**。

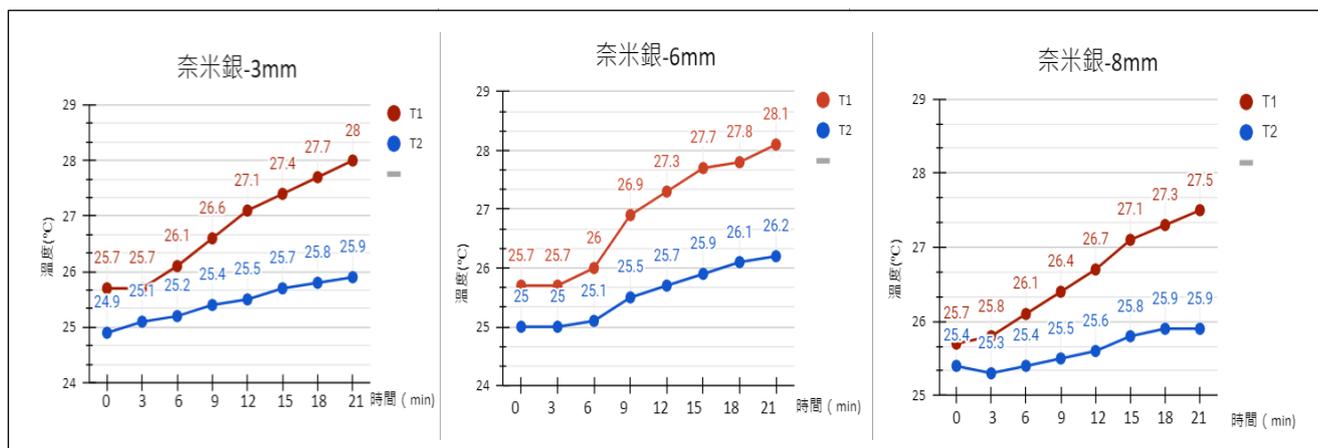
(五)實驗組-奈米銀管簾之實驗數據及溫度對時間關係圖

在固定的光源照射下，測量實驗組-奈米銀百葉管簾的 T0、T1、T2 及 T3 溫度，並記錄於表格中，再繪製溫度對時間關係圖，結果如下：

1.實驗組-奈米銀管簾之實驗數據

奈米銀	溫度計	0min	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min
3mm	T0	26.9	28.7	30.3	31.1	31.5	32.5	32.3	33.0
	T1	25.7	25.7	26.1	26.6	27.1	27.4	27.7	28.0
	T2	24.9	25.1	25.2	25.4	25.5	25.7	25.8	25.9
	T3	24.9	25.1	25.2	25.5	25.5	25.5	25.6	25.6
6mm	T0	27.6	31.1	33.0	35.5	35.8	37.6	37.1	37.3
	T1	25.7	25.7	26.0	26.9	27.3	27.7	27.8	28.1
	T2	25.0	25.0	25.1	25.5	25.7	25.9	26.1	26.2
	T3	25.0	25.2	25.5	25.6	25.7	25.8	25.9	26.0
8mm	T0	27.2	29.2	31.0	32.8	32.8	33.5	33.1	34.4
	T1	25.7	25.8	26.1	26.4	26.7	27.1	27.3	27.5
	T2	25.4	25.3	25.4	25.5	25.6	25.8	25.9	25.9
	T3	25.5	25.5	25.6	25.6	25.8	25.8	25.9	26.0

2.實驗組-奈米銀管簾之溫度對時間關係圖



3.實驗討論

隨著填充奈米銀的管簾置入窗戶後，可觀察到 T1、T2 的溫度慢慢上升，直到 21 分鐘仍未達熱平衡，只是緩慢上升，故參照對照組的溫差計算，亦採用 15 分鐘後的 T1、T2 平均值作為計算 ΔT 的依據；另外，T2 溫度也是在實驗開始 18 分鐘後緩慢上升，只觀察到管徑 8mm 的管簾達到穩定的溫度，三種管徑的奈米銀管簾，T2 相對於對照組、蘆薈、木糖醇及薄荷腦管簾來的高，顯見奈米銀的熱傳導效果明顯，阻熱效果較差。

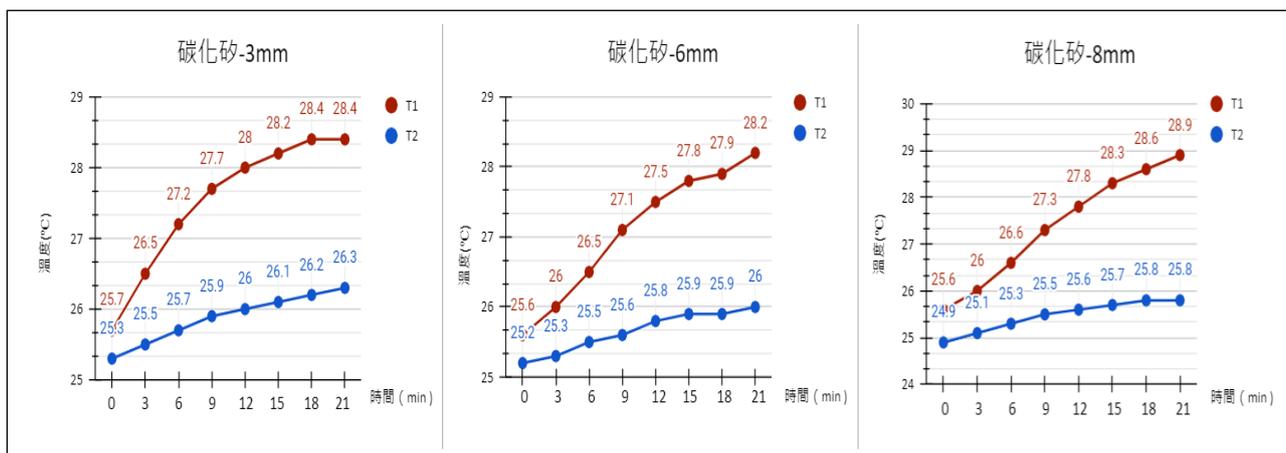
(六)實驗組-碳化矽管簾之實驗數據及溫度對時間關係圖

在固定的光源照射下，測量實驗組-碳化矽百葉管簾的 T0、T1、T2 及 T3 溫度，並記錄於表格中，再繪製溫度對時間關係圖，結果如下：

1.實驗組-碳化矽管簾之實驗數據

碳化矽	溫度計	0min	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min
3mm	T0	31.8	32.9	32.3	33.5	33.8	34.2	33.7	34.4
	T1	25.7	26.5	27.2	27.7	28.0	28.2	28.4	28.4
	T2	25.3	25.5	25.7	25.9	26.0	26.1	26.2	26.3
	T3	25.3	25.5	25.6	25.7	25.7	25.8	25.7	25.7
6mm	T0	27.0	29.5	30.8	31.7	31.8	32.3	32.7	32.6
	T1	25.6	26.0	26.5	27.1	27.5	27.8	27.9	28.2
	T2	25.2	25.3	25.5	25.6	25.8	25.9	25.9	26.0
	T3	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	25.3	25.5	25.5
8mm	T0	27.2	29.5	31.3	32.4	33.1	32.9	34.0	32.8
	T1	25.6	26.0	26.6	27.3	27.8	28.3	28.6	28.9
	T2	24.9	25.1	25.3	25.5	25.6	25.7	25.8	25.8
	T3	25.0	25.1	25.4	25.4	25.4	25.4	25.5	25.5

2.實驗組-碳化矽管簾之溫度對時間關係圖



3.實驗討論

在填充碳化矽的管簾置入窗戶後，可觀察到 T1 溫度上升、T2 的溫度較緩慢上升，除了管徑 3mm 的管簾，其 T1 在 18 分鐘後達穩定值外，其餘的管簾之 T1 直到 21 分鐘仍未達熱平衡，只是緩慢上升，故參照對照組的溫差計算，亦採用 15 分鐘後的 T1、T2 平均值作為計算 ΔT 的依據。另外，T2 溫度也是在實驗開始後緩慢上升，只觀察到管徑 6mm、8mm 的管簾之 T2 在 15 分鐘後達到穩定的溫度。三種管徑的碳化矽管簾，T2 相對於對照組、蘆薈、木醣醇及薄荷腦管簾亦來得高，顯見碳化矽的熱傳導效果明顯，阻熱效果相對差。

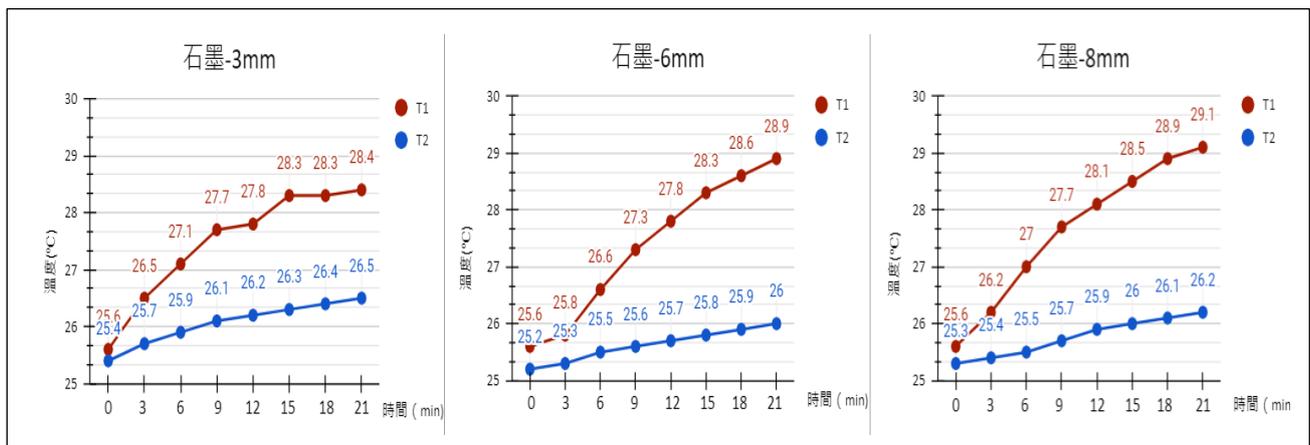
(七)實驗組-石墨管簾之實驗數據及溫度對時間關係圖

在固定的光源照射下，測量實驗組-石墨百葉管簾的 T0、T1、T2 及 T3 溫度，並記錄於表格中，再繪製溫度對時間關係圖，結果如下：

1.實驗組-石墨管簾之實驗數據

石 墨	溫度計	0min	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min
3mm	T0	27.9	31.0	32.6	32.9	32.9	32.2	33.2	33.9
	T1	25.6	26.5	27.1	27.7	27.8	28.3	28.3	28.4
	T2	25.4	25.7	25.9	26.1	26.2	26.3	26.4	26.5
	T3	25.5	25.7	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
6mm	T0	27.6	29.2	29.9	31.5	32.1	32.0	32.0	30.9
	T1	25.6	25.8	26.6	27.3	27.8	28.3	28.6	28.9
	T2	25.2	25.3	25.5	25.6	25.7	25.8	25.9	26.0
	T3	25.0	25.5	25.3	25.5	25.5	25.6	25.6	25.7
8mm	T0	27.5	28.9	30.2	30.4	30.9	31.5	33.0	32.1
	T1	25.6	26.2	27.0	27.7	28.1	28.5	28.9	29.1
	T2	25.3	25.4	25.5	25.7	25.9	26	26.1	26.2
	T3	25.2	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.6	25.6

2.實驗組-石墨管簾之溫度對時間關係圖



3.實驗討論

在填充石墨的管簾置入窗戶後，可觀察到 T1 溫度上升、T2 的溫度較緩慢上升，除了管徑 3mm 的管簾，其 T1 在 15 分鐘後達穩定值外，其餘的管簾之 T1 直到 21 分鐘仍未達熱平衡，只是溫度上升趨緩，亦參照對照組的溫差計算，以 15 分鐘後的 T1、T2 平均值作為計算 ΔT 的依據。另外，可觀察到 T2 溫度也是在實驗開始後緩慢上升，12 分鐘之後，每 3 分鐘上升 0.1°C 。三種管徑的石墨管簾，T2 相對於對照組及其他實驗組管簾來得高，可得知石墨因熱傳導係數高，熱傳導效果明顯，阻熱效果最差。

二、對照組、實驗組-六種同材質及三種不同管徑的管簾之阻熱及散熱效果比較

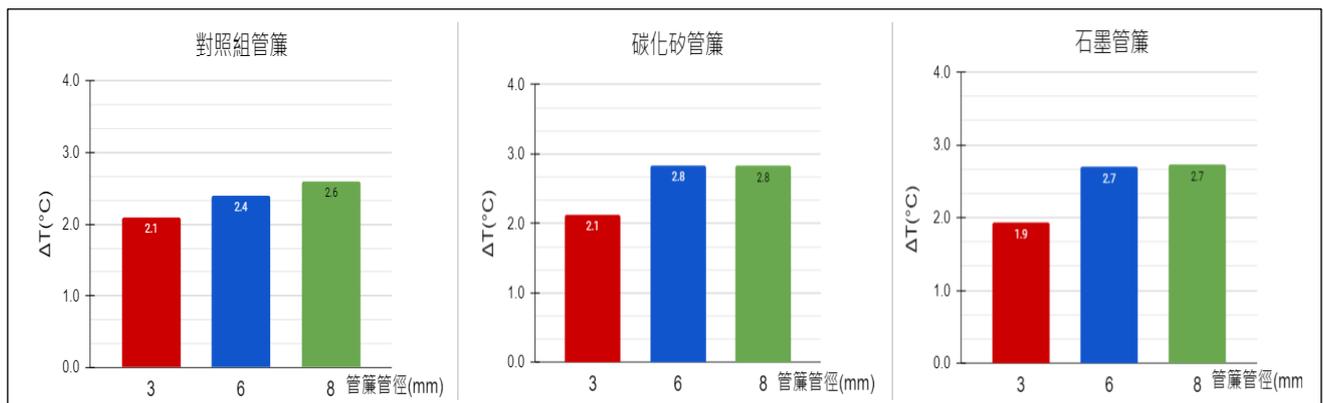
從各種條件的管簾所測得的實驗數據結果可知，大部分溫度變化約 15 分鐘後可達熱平衡，所以取 T1、T2 之 15/18/21 分鐘的溫度平均值，計算管簾前後側的 $\Delta T(\overline{T1} - \overline{T2})$ ，再根據傅立葉導熱定律推論，比較管簾的阻熱及散熱效果。

(一)對照組、碳化矽、石墨管徑大小為 3mm/6mm/8mm 之管簾 ΔT 及阻熱效果比較

1.對照組、碳化矽、石墨管徑大小為 3mm/6mm/8mm 之管簾 ΔT 計算結果

管簾名稱	管徑大小	$\overline{T1}(^{\circ}\text{C})$	$\overline{T2}(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})=\overline{T1} - \overline{T2}$
對照組	3mm	28.2	26.1	2.1
	6mm	28.1	25.7	2.4
	8mm	28.6	26.0	2.6
碳化矽	3mm	28.3	26.2	2.1
	6mm	28.0	25.9	2.8
	8mm	28.6	25.8	2.8
石 墨	3mm	28.3	26.4	1.9
	6mm	28.6	25.9	2.7
	8mm	28.8	26.1	2.7

2.管徑大小為 3mm/6mm/8mm 之對照組、碳化矽、石墨管簾 ΔT 關係圖



3.實驗討論

- 當受熱面積相等且熱量傳遞速率相等時，不同管徑的熱傳導係數差異會影響阻熱效果。在對照組、實驗組-碳化矽及石墨管簾實驗中，管徑為 6mm 及 8mm 的百葉管簾其 ΔT 值較大，表示管徑越小，熱傳導係數越大，這是因為較小的管徑能夠提供更大的表面積來散發熱量，使熱傳導更快，阻熱效果不佳。
- 當受熱面積相等且熱通量相等時，散熱率與溫度梯度成正比。在此實驗中，管徑 6mm 與 8mm 的管簾相較於管徑 3mm 的管簾，其溫度梯度 ΔT 較高，阻熱效果較佳。因此，碳化矽管簾的管徑較大時，阻熱效果較對照組管簾及實驗組-石墨管簾為佳。推測此結果是因為實驗組中的碳化矽與石墨兩種材料與空氣的熱傳導係數與特性不同的影響，碳化矽為半導體材料，具有良好的阻熱效果。

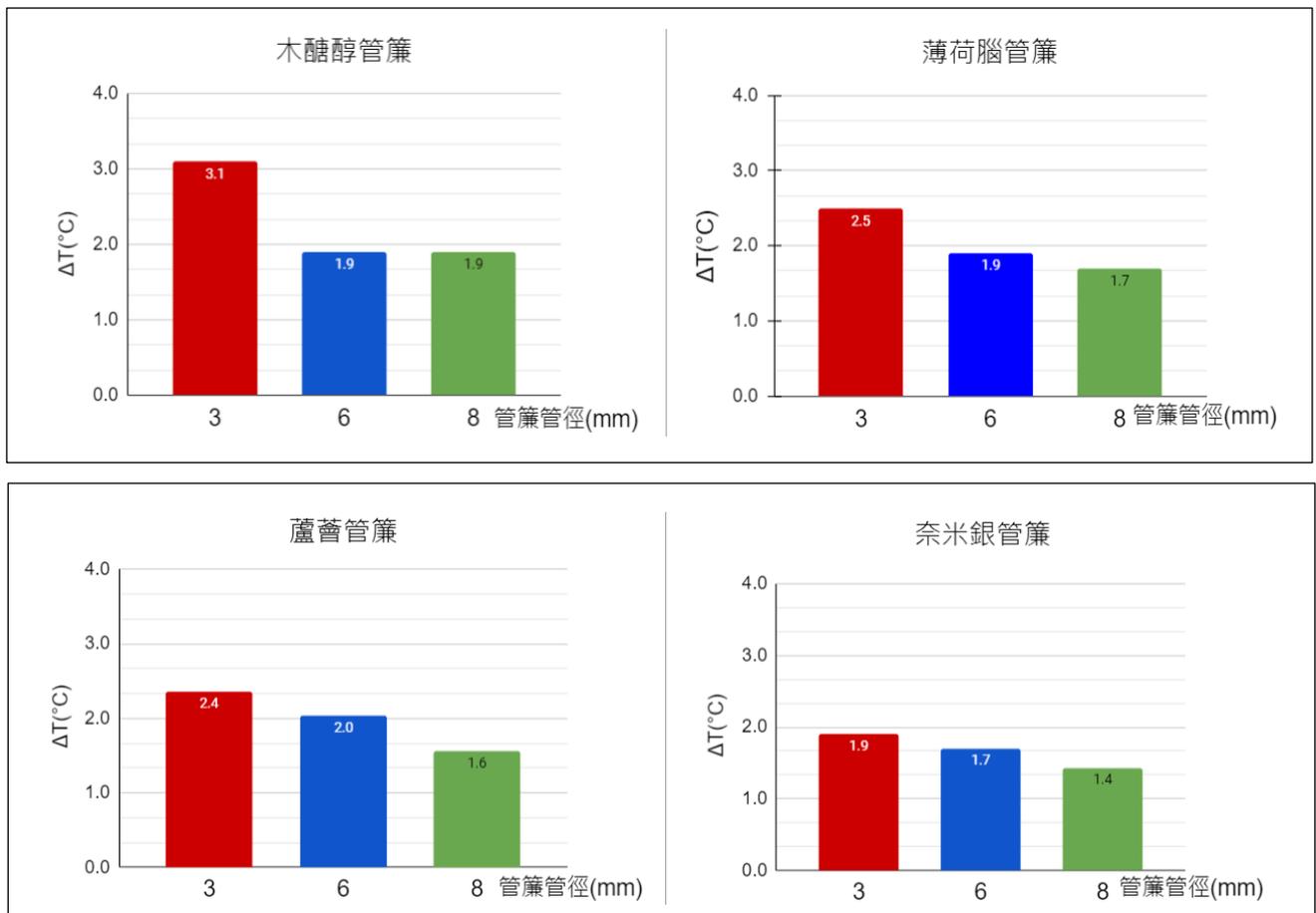
(二)實驗組管徑大小為 3mm/6mm/8mm 之管簾 ΔT 及阻熱效果比較

從各種條件的管簾所測得的實驗數據結果可知，大部分溫度變化約 15 分鐘後可達熱平衡，所以取 T_1 、 T_2 之 15/18/21 分鐘的溫度平均值，計算管簾前後側的 $\Delta T(\overline{T_1} - \overline{T_2})$ ，再根據**傅立葉導熱定律**及**牛頓冷卻定律**推論，比較管簾的阻熱及散熱效果。

1.實驗組管徑大小為 3mm/6mm/8mm 之管簾 ΔT 計算結果

管簾名稱	管徑大小	$\overline{T_1}(\text{°C})$	$\overline{T_2}(\text{°C})$	$\Delta T(\text{°C})=\overline{T_1} - \overline{T_2}$
木醣醇	3mm	28.1	25.0	3.1
	6mm	26.3	24.4	1.9
	8mm	26.0	24.1	1.9
薄荷腦	3mm	26.3	23.8	2.5
	6mm	25.7	23.8	1.9
	8mm	26.1	24.4	1.7
蘆 薈	3mm	26.6	24.3	2.4
	6mm	25.5	23.5	2.0
	8mm	25.1	23.6	1.6
奈米銀	3mm	27.7	25.8	1.9
	6mm	27.9	26.1	1.7
	8mm	27.3	25.9	1.4

2.管徑大小為 3mm/6mm/8mm 之管簾 ΔT 關係圖



3.實驗討論

實驗組-木醣醇、薄荷腦、蘆薈及奈米銀管簾，其內部填充物為靜止的液體，而在靜液中，熱量只能通過熱傳導的方式進行傳遞，因此熱阻通常很高，並且隨著距離的增加而增加。在液體中熱量的傳遞速度取決於溫度差、熱傳導性質和液體的特性等因素。而在靜止液體中，因為對流現象比較弱，熱傳遞主要依靠熱傳導，因此熱阻通常比對流液體中的熱阻高。

- (1)根據傅立葉熱傳定律，當受熱面積相等時、 q 也相等時，熱能傳遞的速率與材料熱傳導性質成正比，因此熱傳導性較高的材料會有較佳的散熱效果。而根據牛頓冷卻定律，冷卻速率與冷卻體的溫度差成正比，因此冷卻體的冷卻速率會受到管徑大小的影響，直徑越小，冷卻速率越快。在木醣醇管簾實驗中，發現 3mm 管簾的 $\Delta T > 6\text{mm}$ 管簾的 $\Delta T = 8\text{mm}$ 管簾的 ΔT ，表示管徑愈小散熱效果最佳，推測是因為木醣醇有較高的熱傳導性質，使其能快速將熱能傳遞到管道表面，同時 3mm 管徑的冷卻速率比 6mm 和 8mm 管徑更快，能更有效地將熱能帶走，因此產生了較佳的散熱效果。
- (2)在相同受熱面積和熱通量的情況下，熱傳導率較高的材料，其對應的管徑所測得的溫差較小。而牛頓冷卻定律則是指出，流體在相同速度和密度的情況下，對較熱的物體具有較強的冷卻效果。當管簾內含薄荷腦時，由於薄荷腦的熱傳導率較高，所以管徑較小的 3mm 內的溫差會比 6mm 和 8mm 的溫差更大。另外，由於牛頓冷卻定律的影響，冷卻效果較強的流體會使管徑較大的 6mm 和 8mm 的溫差更小。
- (3)在管徑不同的情況下，管徑較小的管簾將有更多的表面積，因此其受熱面積也會相對增加。通過的熱量較多，是因為管簾前後側的溫度差異較大，導致熱量傳遞的速度更快。根據傅立葉熱傳定律，熱量傳遞速度與溫度梯度成正比，而管徑較小的 3mm 蘆薈管簾，由於管簾前後側溫度差異較大，使得溫度梯度更加陡峭，因此熱量傳遞速度更快。
- (4)根據奈米流體學，在流體中加入懸浮的固體金屬粒子，且分散相固體粒子若為奈米尺度時，受布朗運動影響，固體粒子與液體不斷發生不規律撞擊，使顆粒能穩定懸浮於液中不易沉澱，改變流體的性質；故固相粒子的存在，比液相之工作流體有較大的熱傳導係數，有很明顯的熱傳增強特性，可以提升較理論預測達 10 倍之熱傳導效應，有效增加熱傳率。(周榮源，2016 年)。因此，當管徑內含奈米銀時，由於奈米銀粒子的存在，進而影響其阻熱和散熱效果。管徑為 3mm 的管簾阻熱效果好，因為管徑愈小，不易對流，可以增加流體的熱傳導能力，提高阻熱的效能。而 8mm 的管簾，因管徑較大相當於增加其對流距離，提高了其對外界熱源的散熱能力。(物理學報，2016)

三、管徑大小及六種不同材質的管簾其阻熱及散熱效果比較

同上述實驗方法，計算管簾前後側的 $\Delta T(\overline{T1} - \overline{T2})$ ，再根據傅立葉導熱定律及牛頓冷卻定律推論，比較管簾的阻熱及散熱效果。

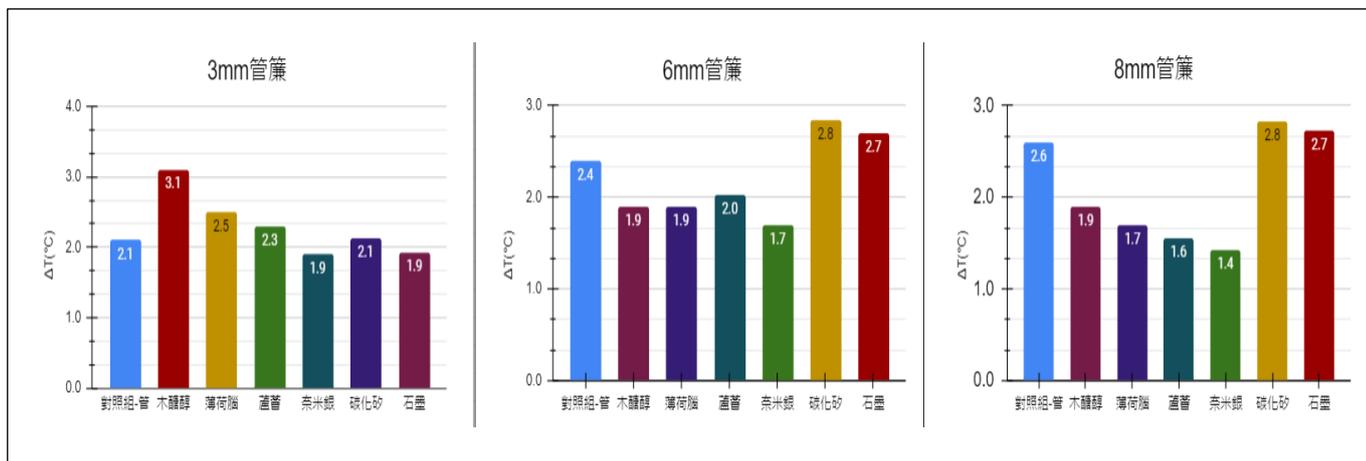
比較對照組及實驗組管簾的阻熱及散熱效果。

(一)管徑大小為 3mm/6mm/8mm 之管簾 ΔT 及阻熱效果比較

1.管徑大小為 3mm/6mm/8mm 之管簾 ΔT 計算結果

管徑大小	填充物質	$\overline{T1}(^{\circ}\text{C})$	$\overline{T2}(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})=\overline{T1} - \overline{T2}$
3mm	對照組	28.2	26.1	2.1
	木醣醇	28.1	25.0	3.1
	薄荷腦	26.3	23.8	2.5
	蘆 薈	26.6	24.3	2.4
	奈米銀	27.7	25.8	1.9
	碳化矽	28.3	26.2	2.1
	石 墨	28.3	26.4	1.9
6mm	對照組	28.1	25.7	2.4
	木醣醇	26.3	24.4	1.9
	薄荷腦	25.7	23.8	1.9
	蘆 薈	25.5	23.5	2.0
	奈米銀	27.9	26.1	1.7
	碳化矽	28.0	26.0	2.8
	石 墨	28.6	25.9	2.7
8mm	對照組	28.6	26.0	2.6
	木醣醇	26.0	24.1	1.9
	薄荷腦	26.1	24.4	1.7
	蘆 薈	25.1	23.6	1.6
	奈米銀	27.3	25.9	1.4
	碳化矽	28.6	25.8	2.8
	石 墨	28.8	26.1	2.7

2.管徑大小為 3mm/6mm/8mm 的不同材質管簾 ΔT 關係圖



(二)實驗討論

1. 對照組與實驗組-3mm 管簾之阻熱及散熱效果探討

管簾中所填充的物質之熱傳導係數越大，熱量傳遞速度就越快，因此其溫度上升較慢，具有較好的散熱效果。牛頓冷卻定律則說明了在相同的條件下，冷卻效果與冷卻介質之間的熱傳導能力有關。根據這些原理，我們可以解釋不同材料在阻熱效果上的表現。從我們的實驗數據可以看出，**管簾管徑較小、較薄時，木醣醇的 ΔT 值最大，表示它具有較好的阻熱效果。而石墨和奈米銀的 ΔT 值相對較低，阻熱效果較差，推測原因為這兩種物質的熱傳導係數高於其他物質。**其中，奈米銀的 ΔT 值最低，表示它在阻熱方面的表現最差，但相對散熱效果則較佳。阻熱及散熱效果的好壞與材料的熱傳導能力有關，且受到材料的結構、成分和密度等因素的影響。在實際應用中，我們可以根據所需的阻熱或散熱效果和填充物質的特性不同，選擇適合的材料來進行阻熱及散熱設計。

2. 對照組與實驗組-6mm 管簾之阻熱及散熱效果探討

在管徑 6mm 的管簾實驗中，**碳化矽管簾的 ΔT 值最大，即加入碳化矽材料的管簾具有最佳的隔熱性能。**蘆薈和木醣醇的熱傳導係數較低，因此其阻熱效果比碳化矽和石墨差。奈米銀的阻熱效果最差、散熱效果最佳，原因為為**奈米銀的熱傳導係數較高，且為奈米尺度比一般的流體具有更明顯的熱傳導效應，導致其更容易將熱量傳遞散熱。**

3. 對照組與實驗組-8mm 管簾之阻熱及散熱效果探討

當管簾管徑增大為 8mm 時，實驗結果與管徑 6mm 時相同，且奈米銀管簾隨管徑愈大，散熱效果愈佳，與文獻記載結果吻合。(周榮源，2016 年)

陸、結論與未來展望

- 一、當管簾中填充相同材料時，會因厚度不同，對熱的阻隔效果產生差異。一般來說，材料的厚度越厚，阻隔熱的能力就越強。因此，所量測到的管簾後側 T2 的溫度變化應該隨著管徑增大而愈小。這是因為**隨著填充材料厚度的增加，熱阻值越大、 ΔT 值大，熱傳輸速率會減緩，熱量在材料中的擴散時間增加**，使熱量到達另一端的時間更長所致。例如：對照組、實驗組-碳化矽及實驗組-石墨管簾。**故同材質的實驗組管簾，管徑較大阻熱效果愈佳。**
- 二、當填充物質為液體時，比固相粒子之熱傳導係數相對小。而內含奈米尺度金屬粒子時，又比一般的液體有更明顯的熱傳特性，進而影響其阻熱和散熱效果。再者，**隨管簾的管徑增大，相當於增加對流與傳熱的距離，提高了管內奈米流體對外界熱源的散熱能力。**(物理學報，2016)。**因此，相同管徑的液體管簾內含木醣醇、薄荷腦、蘆薈時，阻熱效果較填充奈米銀時為佳；散熱效果則為填充奈米銀時最佳。**
- 三、本研究根據**傅立葉導熱定律及牛頓冷卻定律**作為推論基礎，當窗戶面積及管簾管徑相同時，欲比較不同的填充物質之阻熱效果，可由 $\Delta T(^{\circ}\text{C}) = \overline{T1} - \overline{T2}$ 大小推論，綜合實驗結果，可得知阻熱及散熱效果比較如下：

管徑大小	填充物質	$\Delta T(^{\circ}\text{C}) = \overline{T1} - \overline{T2}$	阻熱效果排序	散熱效果排序
3mm	對照組	2.1		3
	木醣醇	3.1	1	
	薄荷腦	2.5	2	
	蘆 薈	2.4	3	
	奈米銀	1.9		1
	碳化矽	2.1		
	石 墨	1.9		1
6mm	對照組	2.4	3	
	木醣醇	1.9		2
	薄荷腦	1.9		2
	蘆 薈	2.0		
	奈米銀	1.7		1
	碳化矽	2.8	1	
	石 墨	2.7	2	
8mm	對照組	2.6	3	
	木醣醇	1.9		
	薄荷腦	1.7		3
	蘆 薈	1.6		2
	奈米銀	1.4		1
	碳化矽	2.8	1	
	石 墨	2.7	2	

*阻熱效果排序：數字愈小，阻熱效果、散熱效果愈佳。

根據本研究結果，當光源及窗戶面積相同時，阻熱效果與填充材料的厚度有關，所以管徑較大的填充材料比管徑小的填充材料有較大的熱阻值，熱傳導速率越慢，能更有效地阻隔熱量的傳遞。其中，隨管徑越大，**以碳化矽管簾的阻熱效果最好，其次為石墨管簾、對照組管簾**。另外，當填充物質為液體且內含奈米尺度金屬粒子時，具有更好的散熱特性。因此，**填充奈米銀可以獲得最佳散熱效果**，其次為管徑 8mm 的蘆薈管簾。

四、未來應用建議與展望

在實際應用中，我們建議可以根據所需的阻熱或散熱效果和填充物質的特性不同，選擇適合的材料來進行阻熱及散熱設計。例如：

- (一)**建築隔熱材料**：可利用木醣醇、薄荷腦塗覆或做成小管徑包覆於建築材料的表層，降低房屋在夏季的室內溫度，減少空調的使用，達到節能目標。
- (二)**車輛隔熱材料**：用於製作車輛隔熱材料，須可以降低車內溫度又可達到涼感效果，並減少空調的使用，可選擇較便宜蘆薈管簾。
- (三)**電子產品散熱材料**：為提高電子產品的散熱效率，防止過熱損壞，延長產品的使用壽命可利用散熱效果最佳的奈米銀容液來製作電子產品散熱材料。
- (四)未來我們希望可以針對填充材料的種類和形狀，進行更深入的探討，以了解其對熱傳導的影響，並找出更有效的阻熱方法。另外，也可以探討不同環境下的管簾使用效果，例如高溫或低溫環境下，以及不同的空氣壓力和濕度條件下的熱傳導特性，以及**填充材料的可持續性和可再利用性、對環境的影響**等。而在奈米材料熱傳導方面的應用，我們也想研究不同尺寸和形狀的奈米粒子對熱傳導特性的影響，或是奈米材料是否能應用於其他領域，例如太陽能 and 電子器件的散熱及對環境影響和永續性，以確保其應用的安全性。

柒、參考資料及其他

一、涼感材質

(一)自行車坐墊材料是什麼啊，自行車坐墊什麼材質的比較好？2022.09.22 取自：

https://www.dust.wiki/a_tiyu/202112/18840.html

(二)看完心也涼了～「涼感噴霧」真相大公開。2022.09.22 取自：

<https://health.businessweekly.com.tw/Article.aspx?id=ARTL000092921>

(三)涼感衣原理。2022.09.22 取自：

<https://www.wiwi.com.tw/blog/>

二、熱阻

(一)熱阻和散熱的基礎知識：傳導中的熱阻。2022.10.05 取自：

<https://techweb.rohm.com.tw/know-how/thermal-design/9551/>

(二)熱阻和散熱的基礎知識：傳導中的熱阻。2022.10.05 取自：

<https://techweb.rohm.com.tw/know-how/thermal-design/11861/>

(三)靜止液體中的對流熱阻。2022.10.05 取自：

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). Fundamentals of heat and mass transfer (6th ed.). Wiley.

三、傅立葉定律。2022.10.31 取自：

<https://www.newton.com.tw/wiki/%E5%82%85%E7%AB%8B%E8%91%89%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

四、牛頓冷卻定律。2022.10.31 取自：

<https://www.jendow.com.tw/wiki/%E7%89%9B%E9%A0%93%E5%86%B7%E5%8D%BB%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

五、傳導。2022.10.31 取自：

<https://moex.com.tw/pdf/pa0562.pdf>

六、奈米流體熱傳特性及其在冷凍吸盤之應用。2022.11.02 取自：

<https://www.tiri.narl.org.tw/Files/Doc/Publication/InstTdy/152/01520450.pdf>

七、陳智勇、周漢平(2016)。銀奈米顆粒應用於熱傳導之研究。物理學報，65(11)，1-9。

八、吳俊哲、梁晉源(2018)。液體阻熱與散熱材料的研究進展。化學進展，30(11)，1831-1842。

九、六種填充物質的熱傳導係數。2022.11.02 取自：

(一)Engineering Toolbox. Thermal Conductivity of Common Materials and Gases

https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html

(二)PubChem. Menthol

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Menthol>

(三)ciencedirect. Thermal conductivity of aloe vera

[\[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320303832\]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320303832)

(四)Nanowerk. Thermal Conductivity of Nanoparticle Suspensions

[\[https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=24828.php\]](https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=24828.php)

(五)CeramTec. Silicon Carbide (SiC)

[\[https://www.ceramtec.com/materials/silicon-carbide-sic/\]](https://www.ceramtec.com/materials/silicon-carbide-sic/)

【評語】 032912

本作品製作管簾並分別填充木醣醇/奈米銀/碳化矽/蘆薈/薄荷腦等具有涼感能力之物質，製造出具有涼感及隔熱效果的百葉管簾。本作品探討不同填充物質對熱傳導和散熱的影響，並選擇適當的材料進行製作不同管徑大小的百葉管簾，在固定的光源照射下，繪製溫度對時間關係圖，以測試其涼感和阻熱效果。作品主題”冷窗洞避”取”洞”諧音反應研究中以管狀簾從事阻熱與散熱特性內容的探討，很有創意。材料容易取得，作品目標明確，能作有效的資料搜尋，製作研究模型，建立偵測系統，妥善整理數據後呈現，並用心討論結果，是能善加運用科學步驟且相當成熟的作品。建議討論溶液濃度的效應，在確認單一變因後，以最佳結果進行下一變因探討。阻熱與散熱(涼感)是相對的，謹慎使用這兩個專業用詞。

作品海報

「冷窗洞避」---涼感百葉窗 吸熱管簾之阻熱與散熱探討

壹、摘要

炎熱的夏天，因熱浪來襲導致中暑身亡的案例層出不窮。2022年台灣兒童事故案件中，車內及屋內反鎖案件暴增4.1倍；美國每年平均有38個15歲以下兒童死於車內反鎖！長時間處於密閉的車內可能使弱勢族群造成中暑、缺氧窒息或生命威脅。因此，我們決定先從窗簾著手改善，因為窗簾是陽光從窗戶射入室內的第一個屏障，本研究為解決室內的高溫環境，以「管狀窗簾」為填充容器，添加六種涼感物質，探討其阻熱及散熱效果。研究結果為：碳化矽管簾的阻熱效果最好，而奈米銀管簾具最佳的散熱效果。未來，希望本研究成果能應用於日常生活中，例如：車輛隔熱材料、建築的隔熱材料、電子產品散熱材料等，以達到節能減碳目標。

貳、研究動機

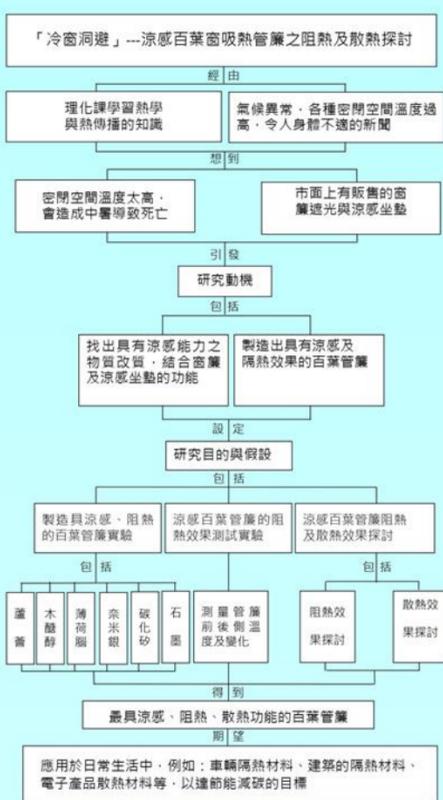
曾在網路上看見一則駭人的新聞，炎熱的夏天早晨，一位父親送三個女兒去托兒所上學，而把2歲的女兒遺忘困在車上，因車內溫度過高，導致中暑身亡。這樣的案例，在夏天層出不窮。澳洲、日本等其他國家也都有相同案例；2022年台灣兒童事故案件，車內及屋內反鎖案件暴增4.1倍，美國每年平均有38個15歲以下兒童死於車內反鎖！長時間處於密閉的車內可能使幼兒或寵物等弱勢族群造成中暑、缺氧窒息或生命的威脅，所以我們決定先從窗簾著手改善，因為窗簾是陽光從窗戶射入的第一個屏障，我們想藉此解決室內的高溫環境，希望先找到可以阻熱降溫的材料，以「管狀窗簾」為填充容器，探討其阻熱及散熱效果，並應用於日常生活中，例如：車窗隔熱、建築材料...等，讓車內或室內的溫度在外部高溫的環境下不飆升或甚至降低，減少熱汙染對人類造成的傷害。

參、研究目的

- (一)製造具涼感及阻熱效果的百葉管簾實驗
- (二)涼感百葉管簾的阻熱效果測試
- (三)涼感百葉管簾的阻熱及散熱效果探討

肆、研究過程與方法

一、實驗流程圖



二、實驗操作過程

(一)涼感百葉管簾的隔熱效果測試實驗

1.製作對照組及實驗組管簾



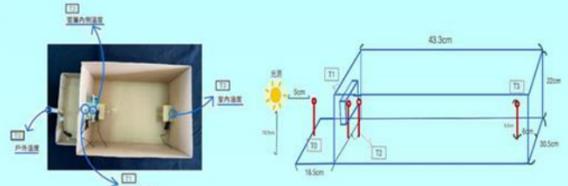
- (1)將口徑3mm/6mm/8mm、長21cm的吸管固定黏貼於電腦卡紙上，再以少許熱熔膠於接近底部及上方管口處黏貼成窗戶大小的管狀窗簾，待管簾前側熱熔膠凝固後，將管簾翻面，黏貼後側固定，如下圖。
- (2)取步驟1的管簾，其中一端以熱熔膠封口後備用。
- (3)對照組管簾-取步驟3所完成之不同口徑3mm/6mm/8mm管簾作為對照組。
- (4)實驗組管簾-依序在各管中以注射針筒注入30%的木醣醇，將每管填充至全滿備用。
- (5)重複步驟4，以30%的薄荷腦/pH3~5的蘆薈液/200ppm的奈米銀/石墨/碳化矽，分別取代30%的木醣醇進行實驗。



2.製作實驗測試箱



- (1)取43.3cm*30.3cm*22cm的回收紙箱，於前側距離底部5cm中央處，裁剪一個9.5cm*9.5cm的窗口。
- (2)在窗口前側16.5cm、窗口、窗口後側3cm及窗口後側37.3cm四處，分別架設T0、T1、T2及T3四支電子溫度計，實驗測試箱示意圖如下。



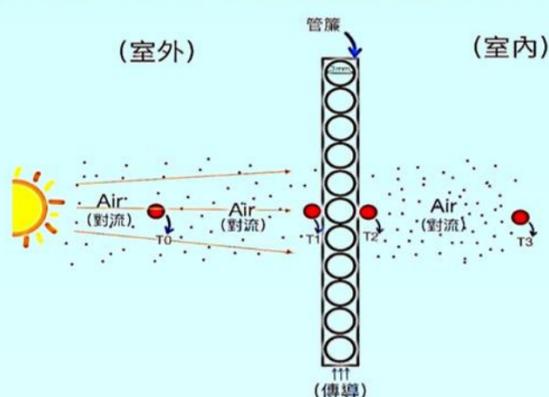
3.實驗過程溫度測試

每隔3分鐘記錄T0、T1、T2及T3溫度於表格中。

管簾放入前	管簾放入中	溫度觀察記錄

(二)涼感百葉管簾的阻熱效果測試

- 1.固定的光源照射下，對照組百葉管簾的前後側溫度測量
將 T1 控制起始溫度為 25.5°C，放入三種不同管徑(3mm/6mm/8mm)的對照組管簾，每隔 3 分鐘紀錄 T0、T1、T2 及 T3，實驗記錄總時間為 21 分鐘，作為阻熱效果探討依據。
- 2.實驗組管簾隔熱效果測試
將 T1 控制起始溫度為 25.5°C，放入不同管徑(3mm/6mm/8mm)、分別含六種不同的填充物質(蘆薈/木醣醇/薄荷腦/奈米銀/碳化矽/石墨)的實驗組管簾，每隔 3 分鐘紀錄 T0、T1、T2 及 T3，實驗記錄總時間為 21 分鐘，作為阻熱效果探討依據。
- 3.本研究所使用之實驗箱及溫度測量示意圖如下：



(三)涼感百葉管簾阻熱及散熱探討

- 1.比較不同填充物質的管簾其阻熱及散熱效果
(1)變因分析：不同填充物質的熱傳導和散熱性能可能會受到其成分和結構的影響，百葉管簾的形狀和大小可能會影響其表面積和體積比，進而影響熱傳導和散熱的效率，測試時的環境溫度、濕度、風速等條件可能會影響熱傳導和散熱的效果。故影響變因有：管簾管徑大小、吸管種類及顏色、填充物質、照光面積、光源。
控制變因：管簾管徑大小、吸管種類及顏色、照光面積、光源
操作變因：填充物質
應變變因：T0、T1、T2 及 T3
(2)從各種條件的管簾所測得的實驗數據紀錄，轉換成溫度對時間關係圖。
(3)再由關係圖變化，待熱平衡時，計算管簾前後側的 $\Delta T(T1-T2)$ ，根據傅立葉導熱定律及牛頓冷卻定律推論，比較管簾的阻熱及散熱效果。
- 2.比較不同管徑的管簾其阻熱及散熱效果
(1)變因分析：管簾管徑大小、吸管種類及顏色、內裝吸管種類、填充物質、照光面積、光源。
控制變因：填充物質、吸管種類及顏色、照光面積、光源
操作變因：管簾管徑大小
應變變因：T0、T1、T2 及 T3
(2)從各種條件的管簾所測得的實驗數據紀錄，轉換成溫度對時間關係圖。
(3)再由關係圖變化，待熱平衡時，計算管簾前後側的 $\Delta T(T1-T2)$ ，根據傅立葉導熱定律及牛頓冷卻定律推論，比較管簾的阻熱及散熱效果。

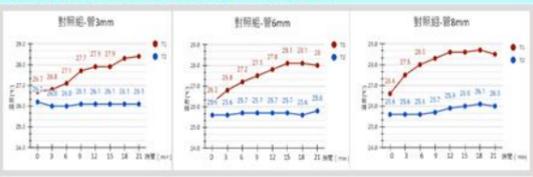
伍、結果與討論

一、涼感百葉管簾阻熱及散熱效果探討

(一)涼感百葉管簾阻熱及散熱效果探討-對照組

在固定的光源照射下，測量對照組百葉管簾的T0、T1、T2及T3溫度，並記錄於表格中，再繪製溫度對時間關係圖，結果如下：

1.對照組管簾之溫度對時間關係圖

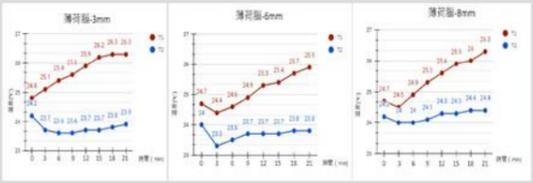


2.實驗討論

隨著對照組管簾置入窗戶時，T1的溫度逐步上升，T2的溫度些微的下降，3分鐘後T2已經達到穩定的溫度。當管徑越大，T2達到穩定溫度的時間越長。而三種管徑的T1部分則是15分鐘後達到穩定的溫度。所以我們會以15分鐘後的T1、T2平均值作為計算ΔT的依據，以探討管簾的阻熱及散熱效果。

(四)涼感百葉管簾阻熱及散熱效果探討-薄荷腦

1.實驗組-薄荷腦管簾之溫度對時間關係圖

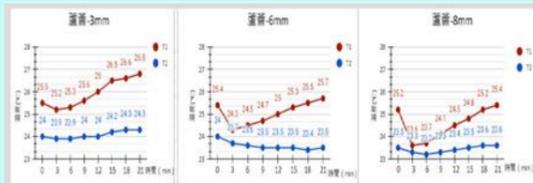


2.實驗討論

在填充薄荷腦的管簾置入窗戶後，可觀察到管徑6mm及8mm管簾的T1溫度亦是先下降，與管徑3mm的略有差異，推測可能因為管徑大以及薄荷腦亦具有與木醣醇及蘆薈相同的降溫的效果。約3分鐘後溫度也開始上升；三種管徑的T1部分，隨管徑愈大而平衡的溫度相對低；T2的溫度則是管徑3mm的下降變化較大一些，可得知填充薄荷腦的管簾亦具有降溫涼感的效果。

(二)涼感百葉管簾阻熱及散熱效果探討-蘆薈

1.實驗組-蘆薈管簾之溫度對時間關係圖

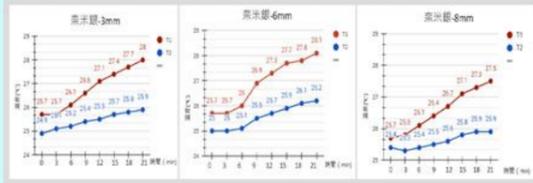


2.實驗討論

隨著填充蘆薈的管簾置入窗戶時，我們觀察到三種管徑的T1溫度會先下降，與對照組不同，另推測可能因為管徑大以及蘆薈具有降溫的效果所致。當管徑越大，T2達到穩定溫度的時間也越長。三種管徑的T1部分，在時間15分鐘後，雖然溫度上升趨緩，但仍未達平衡，故參照對照組計算ΔT的方式。另外，隨管徑愈大而T1平衡的溫度相對低，加上T2的溫度大致無變化，可得知填充蘆薈的管簾具有降溫涼感的效果。

(五)涼感百葉管簾阻熱及散熱效果探討-奈米銀

1.實驗組-奈米銀管簾之溫度對時間關係圖

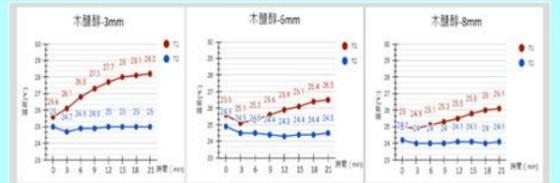


2.實驗討論

隨著填充奈米銀的管簾置入窗戶後，可觀察到T1、T2的溫度慢慢上升，直到21分鐘仍未達熱平衡，只是緩慢上升，故參照對照組的溫差計算，亦採用15分鐘後的T1、T2平均值作為計算ΔT的依據；另外，T2溫度也是在實驗開始18分鐘後緩慢上升，只觀察到管徑8mm的管簾達到穩定的溫度，三種管徑的奈米銀管簾，T2相對於對照組、蘆薈、木醣醇及薄荷腦管簾來的高，顯見奈米銀的熱傳導效果明顯，阻熱效果較差。

(三)涼感百葉管簾阻熱及散熱效果探討-木醣醇

1.實驗組-木醣醇管簾之溫度對時間關係圖

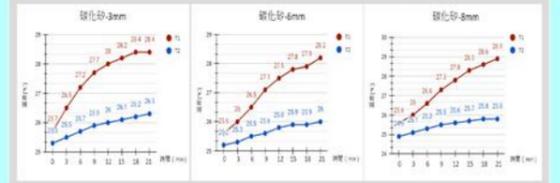


2.實驗討論

在填充木醣醇的管簾置入窗戶後，可觀察到管徑6mm及8mm管簾的T1溫度會先下降，與管徑3mm的不同，推測可能因為管徑大以及木醣醇亦具有與蘆薈相同的降溫的效果。三種管徑的T1部分，隨管徑愈大而平衡的溫度相對低，加上T2的溫度大致無變化，可得知填充木醣醇的管簾亦具有降溫涼感的效果。

(六)涼感百葉管簾阻熱及散熱效果探討-碳化矽

1.實驗組-碳化矽管簾之溫度對時間關係圖

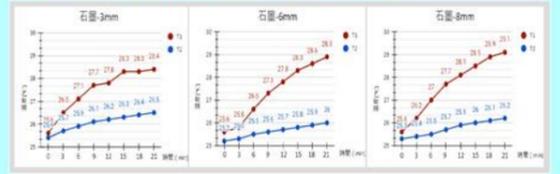


2.實驗討論

在填充碳化矽的管簾置入窗戶後，可觀察到T1溫度上升，T2的溫度較緩慢上升，除了管徑3mm的管簾，其T1在18分鐘後達穩定值外，其餘的管簾之T1直到21分鐘仍未達熱平衡，故參照對照組的溫差計算，亦採用15分鐘後的T1、T2平均值作為計算ΔT的依據。另外，只觀察到管徑6mm、8mm的管簾之T2在15分鐘後達到穩定的溫度。三種管徑的碳化矽管簾，T2相對於對照組、蘆薈、木醣醇及薄荷腦管簾亦來得高，顯見碳化矽的熱傳導效果明顯，阻熱效果相對差。

(七)涼感百葉管簾阻熱及散熱效果探討-石墨

1.實驗組-石墨管簾之溫度對時間關係圖



2.實驗討論

在填充石墨的管簾置入窗戶後，可觀察到T1溫度上升，T2的溫度較緩慢上升，除了管徑3mm的管簾，其T1在15分鐘後達穩定值外，其餘的管簾之T1直到21分鐘仍未達熱平衡，只是溫度上升趨緩，亦參照對照組的溫差計算，以15分鐘後的T1、T2平均值作為計算ΔT的依據。另外，可觀察到T2溫度也是在實驗開始後緩慢上升，12分鐘之後，每3分鐘上升0.1°C。三種管徑的石墨管簾，T2相對於對照組及其他實驗組管簾來得高，可得知石墨的熱傳導效果明顯，阻熱效果最差。

二、對照組、實驗組-六種不同材質及三種管徑的管簾之阻熱及散熱效果探討

從各種條件的管簾所測得的實驗數據結果可知，大部分溫度變化約15分鐘後可達熱平衡，所以取T1、T2之15/18/21分鐘的溫度平均值，計算管簾前後側的ΔT(T1 - T2)，再根據傅立葉導熱定律推論，比較管簾的阻熱及散熱效果。

$$q = -KA \times \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

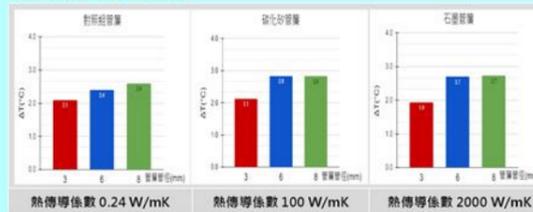
q=熱傳導量(W)；
K=熱傳導係數；
T=溫度；X=距離(m)；
A=垂直於傳熱方向之截面積(m²)

(一)對照組、碳化矽、石墨管徑大小為3mm/6mm/8mm之管簾ΔT及阻熱效果比較

1.對照組、碳化矽、石墨三種管徑之管簾ΔT計算結果

管簾名稱	管徑大小	T1(°C)	T2(°C)	ΔT(°C)=T1-T2
對照組	3mm	28.2	26.1	2.1
	6mm	28.1	25.7	2.4
	8mm	28.6	26.0	2.6
碳化矽	3mm	28.3	26.2	2.1
	6mm	28.0	25.9	2.8
	8mm	28.6	25.8	2.8
石墨	3mm	28.3	26.4	1.9
	6mm	28.6	25.9	2.7
	8mm	28.8	26.1	2.7

2.管徑大小為3mm/6mm/8mm之對照組、碳化矽、石墨管簾ΔT關係圖



3.實驗討論

(1)當受熱面積相等且熱量傳遞速率相等時，不同管徑的熱傳導係數差異會影響阻熱效果。在對照組、實驗組-碳化矽及石墨管簾實驗中，管徑為6mm及8mm的百葉管簾其ΔT值較大，表示管徑愈小，熱傳導係數越大，這是因為較小的管徑能夠提供更大的表面積來散發熱量，使熱傳導更快，阻熱效果越差。

(2)當受熱面積相等且熱通量相等時，散熱率與溫度梯度成正比。在此實驗中，管徑6mm與8mm的管簾相較管徑3mm的管簾，其溫度梯度ΔT較高，阻熱效果較佳。因此，碳化矽管簾的管徑較大時，阻熱效果較對照組管簾及實驗組-石墨管簾為佳。推測此結果是因為實驗組中的碳化矽與石墨兩種材料與空氣的熱傳導係數與特性不同的影響，碳化矽熱傳導係數小，具有良好的阻熱效果。

(二)實驗組管徑大小為3mm/6mm/8mm之管簾ΔT及阻熱效果比較

從各種條件的管簾所測得的實驗數據結果可知，大部分溫度變化約15分鐘後可達熱平衡，所以取T1、T2之15/18/21分鐘的溫度平均值，計算管簾前後側的ΔT(T1 - T2)，根據傅立葉導熱定律及牛頓冷卻定律推論，比較管簾的阻熱及散熱效果。

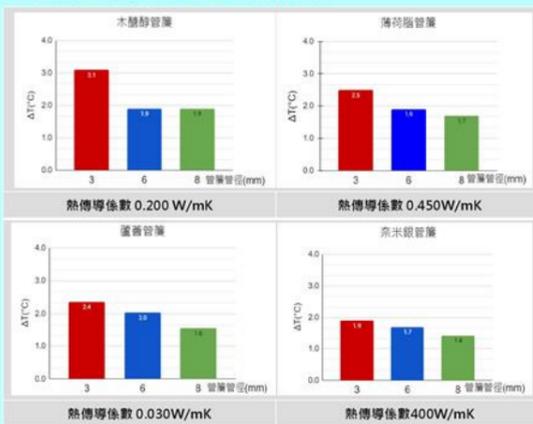
$$q = h\Delta t$$
$$\Phi = qA = Ah\Delta t = \Delta t / (1/hA)$$

其中的1/hA稱為對流傳熱熱阻係數符號；
q為熱流密度
h為物質的對流傳熱係數
Φ為傳熱量
A為傳熱面積

1.實驗組不同管徑大小之管簾ΔT計算結果

管簾名稱	管徑大小	T1(°C)	T2(°C)	ΔT(°C)=T1-T2
木醣醇	3mm	28.1	25.0	3.1
	6mm	26.3	24.4	1.9
	8mm	26.0	24.1	1.9
薄荷腦	3mm	26.3	23.8	2.5
	6mm	25.7	23.8	1.9
	8mm	26.1	24.4	1.7
蘆薈	3mm	26.6	24.3	2.4
	6mm	25.5	23.5	2.0
	8mm	25.1	23.6	1.6
奈米銀	3mm	27.7	25.8	1.9
	6mm	27.9	26.1	1.7
	8mm	27.3	25.9	1.4

2.管徑大小為3mm/6mm/8mm之木醣醇、薄荷腦、蘆薈、奈米銀管簾ΔT關係圖



三、管徑大小及六種不同材質的管簾之阻熱及散熱效果比較

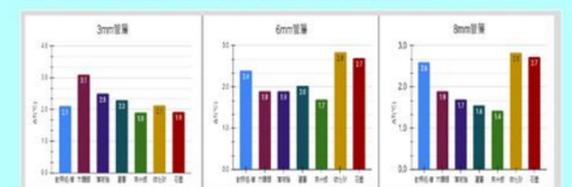
同上述實驗方法，計算管簾前後側的ΔT(T1 - T2)，再根據傅立葉導熱定律及牛頓冷卻定律推論，比較對照組及實驗組管簾的阻熱及散熱效果。

(一)三種管徑大小之管簾ΔT及阻熱效果比較

1.管徑大小為3mm/6mm/8mm之管簾ΔT計算結果

管徑大小	填充物質	T1(°C)	T2(°C)	ΔT(°C)=T1-T2
3mm	對照組	28.2	26.1	2.1
	木醣醇	28.1	25.0	3.1
	薄荷腦	26.3	23.8	2.5
	蘆薈	26.6	24.3	2.4
	奈米銀	27.7	25.8	1.9
	碳化矽	28.3	26.2	2.1
6mm	對照組	28.1	25.7	2.4
	木醣醇	26.3	24.4	1.9
	薄荷腦	25.7	23.8	1.9
	蘆薈	25.5	23.5	2.0
	奈米銀	27.9	26.1	1.7
	碳化矽	28.0	26.0	2.8
8mm	對照組	28.6	26.0	2.6
	木醣醇	26.0	24.1	1.9
	薄荷腦	26.1	24.4	1.7
	蘆薈	25.1	23.6	1.6
	奈米銀	27.3	25.9	1.4
	碳化矽	28.6	25.8	2.8
石墨	28.8	26.1	2.7	

2.三種管徑大小的不同材質管簾ΔT關係圖



(二)實驗討論

1.3mm管簾之阻熱及散熱效果探討

填充物質之熱傳導係數越大，熱量傳遞速度就越快，因此其溫度上升較慢，具有較好的散熱效果。牛頓冷卻定律則說明了在相同的條件下，冷卻效果與冷卻介質之間的熱傳導能力有關。從我們的實驗數據可以看出，管簾管徑較小時，木醣醇的ΔT值最大，具有較好的阻熱效果。而石墨和奈米銀的ΔT值相對較低，阻熱效果較差，推測原因為這兩種物質的熱傳導係數較其他物質高。奈米銀的ΔT值最低，在阻熱方面的表現最差，但散熱效果較佳。

2.6mm管簾之阻熱及散熱效果探討

此管徑的實驗結果顯示，碳化矽管簾的ΔT值最大，即加入碳化矽材料的管簾具有最佳的隔熱性能。雖然蘆薈和木醣醇的熱傳導係數較低，但是其阻熱效果仍然比碳化矽和石墨差。奈米銀的阻熱效果最差，散熱效果最佳。

3.8mm管簾之阻熱及散熱效果探討

實驗結果與管徑6mm時相同，且奈米銀管簾隨管徑愈大，散熱效果愈佳，與文獻記載結果吻合。(周榮源，2016年)

陸、結論與未來展望

一、管簾中填充相同固體材料時

會因厚度不同，對熱的阻隔效果產生差異。一般來說，材料的厚度越厚，阻隔熱的能力就越強。因此，所量測到的管簾後側T2的溫度變化應該隨著管徑增大而愈小。這是因為隨著填充材料厚度的增加，熱阻值越大、 ΔT 值大，熱傳輸速率會減緩，熱量在材料中的擴散時間增加，使熱量到達另一端的時間更長所致。例如：對照組、實驗組-碳化矽及實驗組-石墨管簾。所以同材質的實驗組管簾，管徑較大阻熱效果愈佳。

二、管簾中填充物質為液體時

一般液體會比固相粒子之熱傳導係數相對小。而內含奈米尺度金屬粒子時，又比一般的液體有更明顯的熱傳特性，進而影響其阻熱和散熱效果。再者，隨管簾的管徑增大，相當於增加對流與傳熱的距離，提高了管內奈米流體對外界熱源的散熱能力。(物理學報，2016)。因此，相同管徑的液體管簾內含木醣醇、薄荷腦、蘆薈時，阻熱效果較佳；散熱效果則為填充奈米銀時最佳。

根據本研究結果，當光源及窗戶面積相同時，阻熱效果與填充材料的厚度有關，所以管徑較大的填充材料比管徑小的填充材料有較大的熱阻值，熱傳導速率越慢，能更有效地阻隔熱量的傳遞。其中，隨管徑越大，以碳化矽管簾的阻熱效果最好，其次為石墨管簾、對照組管簾。另外，當填充物質為液體且內含奈米尺度金屬粒子時，具有更好的散熱特性。因此，填充奈米銀可以獲得最佳散熱效果，其次為管徑8mm的蘆薈管簾。

四、未來應用建議與展望

- (一)建築隔熱材料：可利用木醣醇、薄荷腦塗覆或做成小管徑包覆於建築材料的表層，降低房屋在夏季的室內溫度，減少空調的使用，達到節能減碳的目標。
- (二)車輛隔熱材料：可選擇較便宜的蘆薈管簾，既可以降低車內溫度又可達到涼感效果，並減少車內空調的使用。
- (三)電子產品散熱材料：為提高電子產品的散熱效率，防止過熱損壞，延長產品的使用壽命，可利用散熱效果最佳的奈米銀溶液，來製作電子產品散熱材料。
- (四)未來我們希望可以針對填充材料的種類和形狀，進行更深入的探討，以了解其對熱傳導的影響，並找出更有效的阻熱方法。另外，也可以探討不同環境下的管簾使用效果，例如高溫或低溫環境下，以及不同的空氣壓力和濕度條件下的熱傳導特性，以及填充材料的可持續性和可再利用性、對環境的影響等。而在奈米材料熱傳導方面的應用，我們也想研究不同尺寸和形狀的奈米粒子對熱傳導特性的影響，或是奈米材料是否能應用於其他領域，例如太陽能 and 電子器件的散熱及對環境影響和永續性，以確保其應用的安全性。

三、研究結果比較

根據傅立葉導熱定律及牛頓冷卻定律作為推論基礎，當窗戶面積及管簾管徑相同時，欲比較不同的填充物質之阻熱效果，可由： $\Delta T(^{\circ}C) = \overline{T1} - \overline{T2}$ 大小推論，綜合實驗結果，可得知阻熱及散熱效果比較如下：

管徑大小	填充物質	$\Delta T(^{\circ}C) = \overline{T1} - \overline{T2}$	阻熱效果排序	散熱效果排序
3mm	對照組	2.1		3
	木醣醇	3.1	1	
	薄荷腦	2.5	2	
	蘆薈	2.4	3	
	奈米銀	1.9		1
	碳化矽	2.1		
	石墨	1.9		1
6mm	對照組	2.4	3	
	木醣醇	1.9		2
	薄荷腦	1.9		2
	蘆薈	2.0		
	奈米銀	1.7		1
	碳化矽	2.8	1	
	石墨	2.7	2	
8mm	對照組	2.6	3	
	木醣醇	1.9		
	薄荷腦	1.7		3
	蘆薈	1.6		2
	奈米銀	1.4		1
	碳化矽	2.8	1	
	石墨	2.7	2	

*阻熱及散熱效果排序：數字愈小，阻熱效果、散熱效果愈佳。

柒、參考文獻及其他

一、涼感材質

(一)自行車坐墊材料是什麼啊，自行車坐墊什麼材質的比較好？

2022.09.22取自：

https://www.dust.wiki/a_tiyu/202112/18840.html

(二)看完心也涼了~「涼感噴霧」真相大公開。2022.09.22取自：

<https://health.businessweekly.com.tw/AArticle.aspx?id=ARTL000092921>

(三)涼感衣原理。2022.09.22取自：

<https://www.wiwi.com.tw/blog/>

二、熱阻

(一)熱阻和散熱的基礎知識：傳導中的熱阻。2022.10.05取自：

<https://techweb.rohm.com.tw/know-how/thermal-design/9551/>

(二)熱阻和散熱的基礎知識：傳導中的熱阻。2022.10.05取自：

<https://techweb.rohm.com.tw/know-how/thermal-design/11861/>

(三)靜止液體中的對流熱阻。2022.10.05取自：Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). Fundamentals of heat and mass transfer (6th ed.). Wiley.

三、傅立葉定律。2022.10.31取自：

<https://www.newton.com.tw/wiki/%E5%82%85%E7%AB%8B%E8%91%89%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

四、牛頓冷卻定律。2022.10.31取自：

<https://www.jendow.com.tw/wiki/%E7%89%9B%E9%A0%93%E5%86%B7%E5%8D%BB%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

五、傳導。2022.10.31取自：

<https://moex.com.tw/pdf/pa0562.pdf>

六、奈米流體熱傳特性及其在冷凍吸盤之應用。2022.11.02取自：

<https://www.tiri.narl.org.tw/Files/Doc/Publication/InstTdy/152/01520450.pdf>

七、陳智勇、周漢平(2016)。銀奈米顆粒應用於熱傳導之研究。物理學報，65(11)，1-9。

八、吳俊哲、梁晉源(2018)。液體阻熱與散熱材料的研究進展。化學進展，30(11)，1831-1842。

九、六種填充物質的熱傳導係數。2022.11.02取自：

(一)Engineering Toolbox. Thermal Conductivity of Common Materials and Gases https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html

(二)PubChem. Menthol

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Menthol>

(三)ciencedirect. Thermal conductivity of aloe vera

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320303832>

(四)Nanowerk. Thermal Conductivity of Nanoparticle Suspensions

<https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=24828.php>

(五)Ceramic. Silicon Carbide (SiC)

<https://www.ceramtec.com/materials/silicon-carbide-sic/>