

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

第三名

030108

地球親善大使之隔熱杯套篇

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者： 國一 蔡璩賢 國一 王顥霈 國一 陳俞霖	指導老師： 鄭俊楠
---	------------------

關鍵詞：隔熱杯套、熱傳導、導熱係數

摘要

環保隔熱杯套的製作需考量質量輕、隔熱效果好、不添加乾強劑及抗菌劑、破裂強度佳、生物易分解的材料，搭配地方特產，故選用廢棄的茭白筍殼製成的紙塗抹隔熱膠製作出紙漿用量少的杯套。隔熱膠方面，用水性白膠添加四種(咖啡粉、中空粉、活性碳及棉中空碳纖維)熱傳導差且有孔隙的粉末。研究發現，sil-32 中空粉有最好的隔熱效果；比較 sil-32 中空粉的濃度變化，歸納出 sil-32 中空粉濃度越高有越好的隔熱效果。sil-32 中空粉再利用隔熱紙張厚度變化對熱罐表面溫度作圖，發現含有適當甲殼素的隔熱紙張越厚時則隔熱效果越好。因為我們發現 sil-32 中空粉比其他隔熱粉末效果好，所以決定做中空粉不同體積大小的比較，最後發現 D46 中空粉的隔熱效果最好。

壹、 研究動機

目前，便利商店的外帶熱飲極為普遍，因為燙手，所以隔熱杯套被大量使用。隔熱杯套使用瓦楞紙作為基本材料，紙漿使用量大，砍伐樹木多，不利於森林保育，不僅且對溫室效應有一定程度的影響，而且紙杯套添加了硬化劑及殺菌劑等化學物質，會對地球環境造成傷害。因此我們想研發出一種質量輕、環保且隔熱效果又好的杯套。

茭白筍(*Zizania latifolia*)，又稱美人腿(正式名稱為「菰」)[1]，是埔里的名產。茭白筍殼的纖維較粗，被當成垃圾丟棄，但它具有粗韌的植物纖維，做成的紙張纖維密度均勻，基於『減廢』、『資源再利用』的理由，我們選擇它作為隔熱杯套的基本紙材。並在紙上面塗抹不同的環保材料做成隔熱杯套。

熱的傳遞方式包含：熱傳導、熱對流和熱輻射，其中，熱傳導為固體與固體間的接觸，熱量由高溫物體流向低溫物體的過程；熱對流是指固體的表溫和常溫中流動空氣之溫差所引起的熱量流動，我們將以這兩種熱傳遞的特性[2]，選擇適當的材料進行隔熱杯套的製作。

選擇使用熱傳導及熱對流差的非金屬環保物質添加在白膠中製作成為隔熱膠，並將隔熱膠塗抹在茭白筍殼紙上，探討添加物對隔熱效果的影響，添加物包含：第一，中空玻璃球(中空粉)，玻璃是絕緣體(導熱係數 0.002 卡/秒-公分-°C)，且球體中間有不流動的空氣(導熱係數 0.000057 卡/秒-公分-°C)，可防止熱藉由傳導流到外界；第二，活性碳粉末，利用活性碳內多孔洞的特性保留空氣，隔絕熱的傳遞；第三，咖啡豆含有植物纖維(熱傳導係數 0.0002 卡/秒-公分-°C) [3]，經過多次烘焙，造成內部物質收縮，形成縫隙可以保留不流動空氣，降低熱傳導速度；第四，棉中空碳纖維，利用棉纖維的中空性質，將它乾餾，製造出棉中空碳纖維。

為了讓隔熱紙張不要使用殺菌劑也能具有抗菌效果，我們改以甲殼素高分子代替，加入紙中進行改質。由於甲殼素為生物可分解材料[4]，且可降低每年蝦殼、蟹殼對台灣環境造成的污染，且丟棄後的隔熱杯套，亦可以快速的被環境分解。

貳、 研究目的

- 一、 探討活性碳、中空粉、咖啡粉及棉中空碳纖維哪一種物質隔熱的效果最佳。
- 二、 探討添加中空粉濃度變化對隔熱效果的影響。
- 三、 探討紙張中甲殼素濃度對隔熱效果的影響。
- 四、 探討紙張厚度對隔熱效果的影響。
- 五、 探討何種體積之中空粉的導熱係數最差，隔熱效果最好。

參、 研究設備及器材

一、 隔熱杯套製作材料：

- | | |
|-----------------------|----------|
| (一) 白膠 | (七) 尺 |
| (二) 菱白筍殼紙(6.5cm×23cm) | (八) 量杯 |
| (三) 剪刀 | (九) 電子秤 |
| (四) 篩網 | (十) 攪拌棒 |
| (五) 湯匙 | (十一) 烘乾機 |
| (六) 塑膠板 | |

二、 材料選擇：

- (一) 活性碳
- (二) 咖啡粉(烘焙過咖啡豆磨成粉末，未沖泡)
- (三) 中空粉(中空玻璃球)
- (四) 棉中空碳纖維

三、 測量隔熱杯套溫度用具：

- (一) 電子溫度計(如附圖 1)
- (二) 便利商店 7-11 保溫烤箱(恆溫)
- (三) 便利商店 7-11 保溫熱飲(鐵罐)
- (四) 泡棉膠
- (五) 碼錶



(圖 1)

四、 棉中空碳纖維製做用具：

- | | |
|-----------|----------|
| (一) 卡式爐 | (六) 罐裝瓦斯 |
| (二) 鑷子 | (七) 脫脂棉 |
| (三) 鋁箔紙 | (八) 打火機 |
| (四) 陶瓷纖維網 | (九) 燒杯 |
| (五) 打碎機 | |

五、 甲殼素溶液抽氣過濾用具：

- | | |
|---------|----------|
| (一) 甲殼素 | (六) 抽濾漏斗 |
| (二) 醋酸 | (七) 抽氣馬達 |
| (三) 蒸餾水 | (八) 過濾紙 |
| (四) 噴霧器 | (九) 滴管 |
| (五) 過濾瓶 | (十) 攪拌棒 |

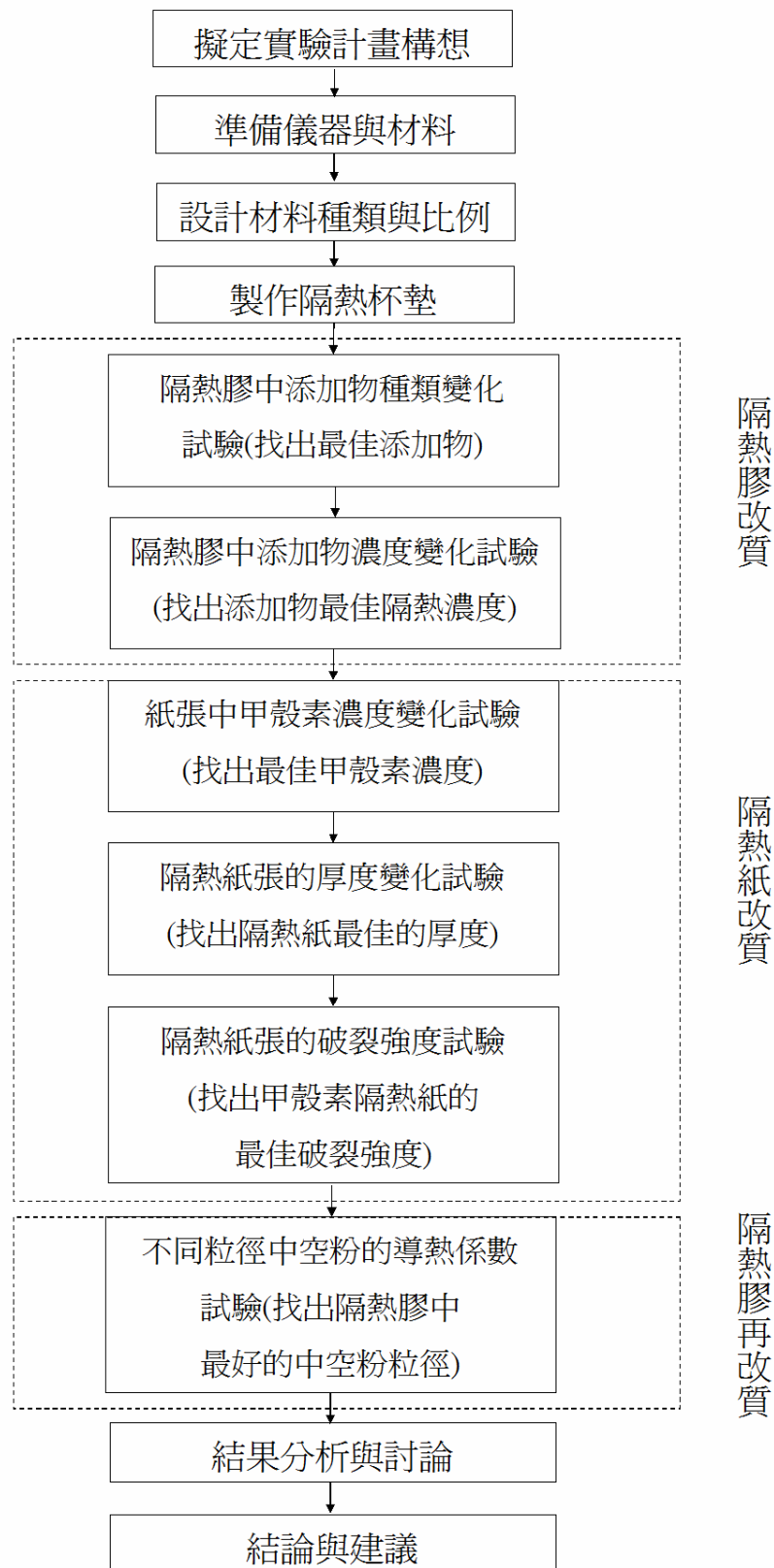
六、 製作冰柱用具：

- | | |
|---------|----------|
| (一) 蒸餾水 | (四) 鋁箔紙 |
| (二) 鐵杯 | (五) 透明膠帶 |
| (三) 泡棉膠 | (六) 冷凍庫 |

七、 測量導熱係數用具：

- | | |
|---|-----------|
| (一) 製造蒸氣電壺 | (十) 攪拌棒 |
| (二) 冰柱 | (十一) 金屬板 |
| (三) 滴管 | (十二) 烘乾機 |
| (四) 燒杯 | (十三) 培養皿 |
| (五) 碼錶 | (十四) 切割墊 |
| (六) 電子秤 | (十五) 紙膠帶 |
| (七) 橡皮筋 | (十六) 牙籤 |
| (八) 白膠 | (十七) 尺 |
| (九) 不同體積的中空粉 (3M 公司：D1、
D4、D46、D51 及 Silbrico 公司：sil-32) | (十八) 泡棉塑膠 |
| | (十九) 泡棉膠 |

肆、 研究過程或方法



一、 乾餾製作棉中空碳纖維：

(一) 仔細將棉花用四層鋁箔紙包起來。(如附圖 2)



(圖 2)



(圖 3)

(二) 在卡式爐上墊上陶瓷纖維網，放上包好的棉花，開始隔絕氧氣燃燒。(如附圖 4、5)



(圖 4)



(圖 5)

(三) 一直燒至無煙冒出為止。

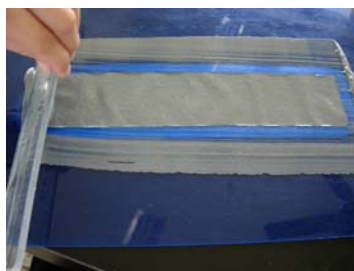
(四) 用打碎機打碎形成粉末。

備註：乾餾法是為了燒除棉花裡的有機物，讓一般的棉纖維形成粉末狀的棉中空碳纖維。

二、 隔熱杯套的製作方法：

(一) 控制變因—厚度、接觸面積：

添加不同的隔熱粉末與白膠均勻混合製作成隔熱膠(塗上茭白筍殼紙前的物質)，利用塑膠模型(4.5×21.0cm，如附圖 6)，將白膠混合物均勻塗抹在茭白筍殼紙上(6.5×23.0cm)，刮除多餘的膠，就可以得到相同厚度的隔熱杯套，且測量時每個杯套與熱罐的接觸面積都相同。(如附圖 6)



(圖 6) 製作隔熱杯套

(二) 隔熱杯套放在常溫自然風乾一天，爲了避免杯套捲曲，我們用木棒固定。
(如附圖 7)



(圖 7)

(三) 控制變因一水分：

由於水分會影響到熱傳遞的效果，所以我們將隔熱杯套放入烘乾機中完全烘乾後秤重，一直到重量不會變，代表沒有水分的殘留。

三、 添加隔熱材料種類變化對溫度的影響：

(一) 控制變因一隔熱粉末重量：

將以下的隔熱材料，各取相同克數分別拌入過濾後的 25g 白膠攪拌均勻，塗抹於茛白筍殼紙上製作成隔熱杯套。如下：

1. 活性炭(如附圖 8)
2. 咖啡粉(如附圖 9)
3. sil-32 中空粉(如附圖 10)
4. 棉中空碳纖維(如附圖 11)
5. 25g 純白膠爲對照組(如附圖 12)



(圖 8)



(圖 9)



(圖 10)



(圖 11)



(圖 12)

(二) 控制變因—熱源與外界溫差：

爲了維持外界與熱罐間的溫度差，影響熱傳速率，我們將溫度差定爲實驗設計的控制變因，故選擇 7-11 便利商店(近似恆溫空間, $T=78.6^{\circ}\text{F}$)，將完成的杯套，緊密的套在熱罐($T=135.0^{\circ}\text{F}$)上，讓系統與外界的溫度差保持在 56.4°F 左右。當杯套表面溫度升到 30°C (86°F) 便開始測量，每十秒紀錄一次溫度，測三分鐘，觀察溫度變化，研究該隔熱杯套之溫度變化曲線。

四、 隔熱杯套中添加隔熱物粉末濃度變化對溫度的影響：

(一) 選擇添加 sil-32 中空粉及咖啡粉的重量變化，分別拌入 25g 的白膠中，製得液態隔熱膠，再將隔熱膠均勻塗抹於茭白筍殼紙上製作成隔熱杯套。下列爲添加隔熱粉末對乾的隔熱膠之濃度比例：

1. 0.5g(濃度=5%)(如附圖 13、18)
2. 1.0g(濃度=9%)(如附圖 14、19)
3. 1.5g(濃度=13%)(如附圖 15、20)
4. 2.0g(濃度=16%)(如附圖 16、21)
5. 2.5g(濃度=20%)(如附圖 17、22)



(圖 13)



(圖 14)



(圖 15)



(圖 16)



(圖 17)



(圖 18)



(圖 19)



(圖 20)



(圖 21)



(圖 22)

五、 紙張中不同的甲殼素濃度對溫度的影響：

(一) 使用抽氣過濾法，去除甲殼素溶液中的雜質。(如附圖 23)

(二) 將茛白筍殼紙剪成 6.5x24.0cm 的大小(比原隔熱杯套略大)，噴上甲殼素溶液後烘乾秤重，扣除原紙張重量，即可算出吸附的甲殼素重量。甲殼素(三張紙)的總吸附量如下：

1. 0.059g (濃度=2%) (如附圖 24)

2. 0.088g (濃度=3%) (如附圖 25)

3. 0.232g (濃度=7%) (如附圖 26)

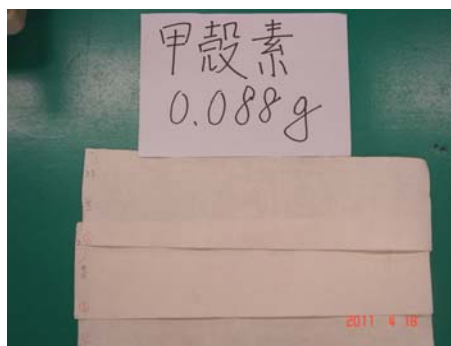
4. 0.343g (濃度=9%) (如附圖 27)



(圖 23)



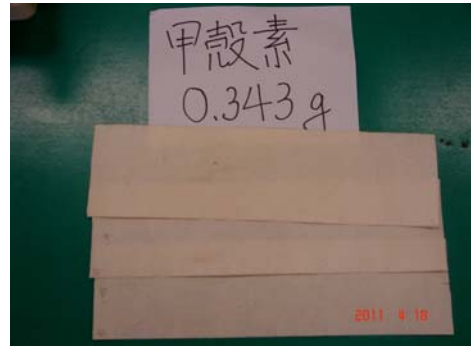
(圖 24)



(圖 25)



(圖 26)



(圖 27)

甲殼素平均單張吸附量如下：

1. 0.020g 2. 0.029g 3. 0.077g 4. 0.114g

將甲殼素重量除以紙張重量，換算成重量百分濃度後，甲殼素平均一張濃度如下：

1. 2% 2. 3% 3. 7% 4. 9%

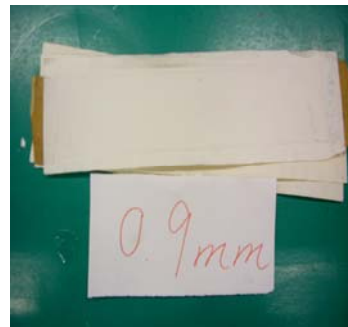
(三) 將隔熱效果最佳的 sil-32 中空粉 2.5g 隔熱杯套，疊在甲殼素紙上，再測量其隔熱效果。

六、 紙張厚度變化對溫度的影響：

(一) 將效果最好的隔熱杯套，即隔熱膠中含 sil-32 中空粉 2.5g(杯套厚度 0.64mm)者，分別墊上每張厚度為 0.13mm 的甲殼素紙(即隔熱效果最好的紙張中甲殼素濃度 3%)墊一張後，厚度為 0.77mm(如附圖 28)；墊二張後，厚度為 0.90mm(如附圖 29)；墊三張後，厚度為 1.03mm(如附圖 30)。



(圖 28)



(圖 29)



(圖 30)

七、 測量甲殼素紙張破裂強度：

我們將甲殼素溶液平均噴灑在茛白筍殼紙上，分開噴灑共五次，得到五張不同濃度的甲殼素 A4 紙張(如附圖 31~36)，利用破裂強度儀(如附圖 37)，測量不同濃度甲殼素紙張的破裂強度，破裂情形(如附圖 38)。



(圖 31)濃度 0



(圖 32)濃度 2.4%



(圖 33)濃度 7.7%



(圖 34)濃度 12.3%



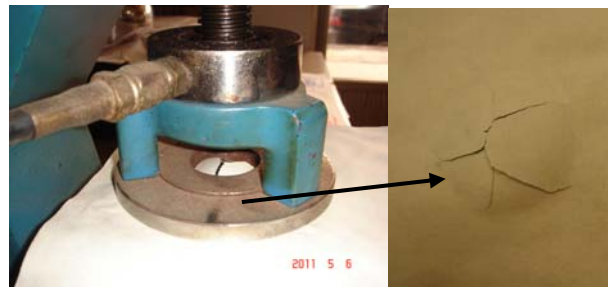
(圖 35)濃度 14.8%



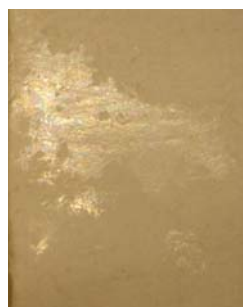
(圖 36)濃度 15.8%



(圖 37)破裂強度測定儀



(圖 38)紙張破裂情形

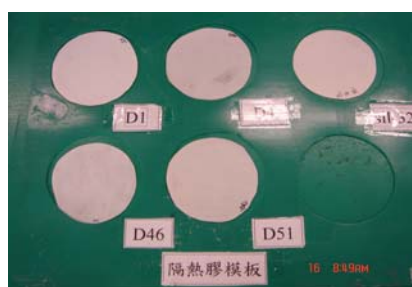


(圖 39)

八、 添加中空粉的隔熱膠片的製作方法：

(一) 先將重量皆為 1 克但體積不同的中空粉分別均勻拌入 25g 白膠中，將表面塗抹至平滑，製成圓盤模型，置於室溫中自然風乾。

(二) 風乾後，取下膠片，再將厚度不均的邊緣部份剪掉，使每一片隔熱膠片厚度均勻，製得六種隔熱膠片，分別為 D1(中空粉體積 $115 \mu\text{m}^3$)、D4(體積 $80 \mu\text{m}^3$)、D46(體積 $70 \mu\text{m}^3$)、D51(體積 $50 \mu\text{m}^3$)、sil-32(體積 $35 \mu\text{m}^3$)。(如附圖 40)



(圖 40)

九、 導熱係數測量方式：

(一) 製造絕熱冰室：

取口徑為 7cm 鐵杯一個，在杯口裁出一個小洞，作為出水口，將杯內外壁都黏上泡棉膠，其中外壁以泡棉膠—鋁箔紙—泡棉膠—透明膠帶順序黏合，作為隔熱層，可隔絕杯內外間的熱交換，管制熱量只能由杯口出入冰室。(冰室外觀如附圖 41~43)



(圖 41)冰室-黏一層泡棉膠



(圖 42)冰室-再黏一層鋁箔紙



(圖 43)冰室-再黏一層泡棉膠

(二) 製作圓冰柱：

將冰室裝入蒸餾水並使其結成冰柱(如附圖 44)，等到冰柱開始溶解後，上下移動內部的冰塊，讓冰柱可以自由滑出，這表示冰、水共存的狀態可以讓冰柱維持在融點(0°C)，即讓冰室維持在固液共存的恆溫狀態。



(圖 44)冰室俯瞰圖

(三) 使用游標卡尺(最小刻度 0.02mm)測量隔熱膠片之厚度。(如附圖 45)



(圖 45)測量隔熱膠片

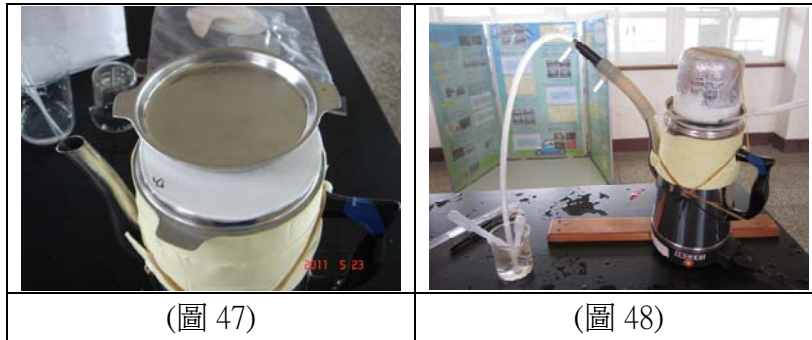
(四) 製作氣液共存的蒸氣室：

使用電壺內部裝水加熱到沸騰，上部空間即為蒸氣室(黃色部分，如附圖 46)。在上部空間以泡棉膠貼合，可防止蒸氣室熱量向外界散失，這種方法可以讓加熱產生的水蒸氣立即進入蒸氣室，熱量不容易散失，讓蒸氣室溫度維持在氣液共存的恆溫狀態。



(圖 46)

(五) 將隔熱膠片上下用薄且光滑平面的金屬板夾住，放在冰室與蒸氣室間，利用橡皮筋使隔熱膠片、冰室表面(金屬板)及蒸氣室表面(金屬板)三者緊密接觸(如附圖 47)，通電加熱電壺內部的水，直到沸騰，讓沸騰產生的蒸氣充滿壺內上部空間，待蒸氣室內部蒸氣產生幾分鐘後，可使蒸氣室內熱流穩定。



(六) 開始測量前，先測量出冰塊的直徑。把冰塊放在圖 49 中隔熱膠片的頂端的冰室內，不必把冰塊從冰室中拿出來，只要放在冰室中並和底部接觸良好即可，並且在實驗進行時讓冰可以自動向下滑，保持和隔熱膠片接觸的狀態。

(七) 讓冰室和隔熱膠片接觸幾分鐘後，冰開始融化，融化中的冰須完全和隔熱膠片上端的金屬片接觸。

(八) 測量冰融化的時間：5 分鐘

(九) 測量融化的水量：

將電壺稍微傾斜到冰室的水量可以自由的流出為止(如附圖 49)，再用吸管輔助吸出已經融解的水量。(如附圖 50)



(圖 49)



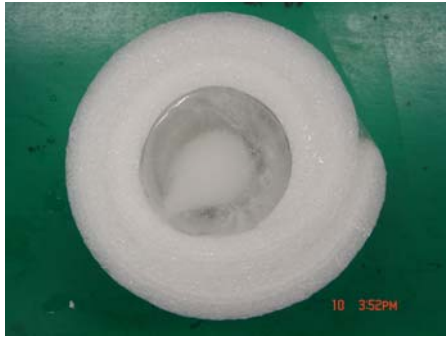
(圖 50)

(十) 測量冰室與蒸氣室間金屬檔板的融冰量 W_m ：

在冰室與蒸氣室間不放置隔熱膠，直接測量金屬檔板所造成的融冰量。

(十一) 測量蒸氣室內的蒸氣直接接觸冰柱融冰量 W_o ：

以泡棉塑膠製作冰室(如附圖 51)，使冰柱與冰室內壁緊密結合，可以防止蒸氣進入冰柱側邊，使冰柱與蒸氣的接觸面積固定。在冰室與蒸氣室間不放置金屬板或隔熱膠片，讓蒸氣直接接觸冰柱，測量蒸氣所造成的融冰量。(如附圖 52)



(圖 51)



(圖 52)

(十二) 爲了校正金屬板的誤差水量，我們製作相同直徑的冰柱並測量試驗前與實驗後的冰柱重量差，以求得金屬板所造成的誤差水量 W_e 。

備註：誤差水量爲冰室與蒸氣室間金屬板阻擋熱傳導所減少的融化冰量

其計算方法爲 $W_e = W_0 - W_m$

W_m ：冰室與蒸氣室間金屬板熱傳導所融化冰的重量

W_0 ：冰室與蒸氣室間直接熱傳導所融化冰的重量

W_e ：冰室與蒸氣室間金屬板阻擋熱傳導所減少的融化冰重量

(十三) 將測量到的數據帶入公式一，以求得隔熱膠片的導熱係數 K 值。

(十四) 將以做好之不同體積大小的中空粉隔熱膠片，依相同測量方式，各求得 K 值。

(十五) 導熱係數的公式如下：

隔熱膠片內側與外側間，當有固定溫差(依本實驗是設定在沸點與融點間)存在時，熱傳導恆定發生。其中熱傳導方程式[5]如下：

$$\frac{\Delta q_x}{\Delta t} = \frac{K A \Delta T}{\Delta X} \quad (\text{公式一})$$

其中 A ：截面積(cm^2)，即冰柱接觸蒸氣室的面積。

ΔX ：隔熱膠厚度(cm)

X ：熱傳方向

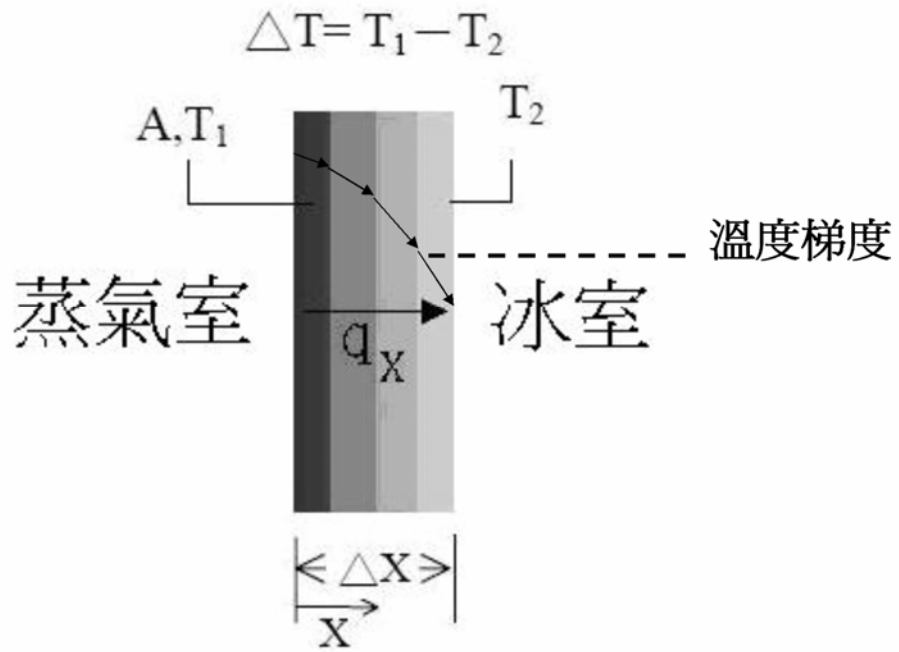
ΔT ：杯墊兩端的溫度差($T_1 - T_2$)

T_1 ：蒸氣室溫度($^{\circ}\text{C}$)

T_2 ：冰室溫度($^{\circ}\text{C}$)

K ：隔熱膠片的導熱係數($\text{卡/秒-公分-}^{\circ}\text{C}$)

熱傳導示意圖如附圖 53：

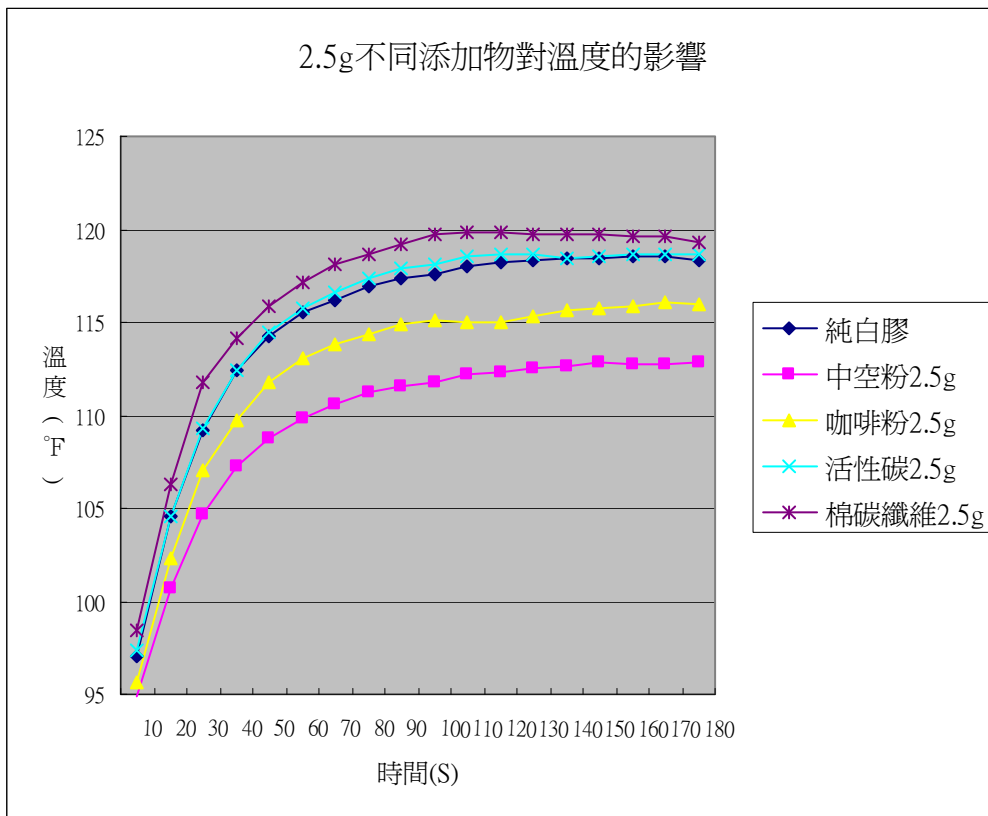


(圖 53)

伍、 研究結果

一、 隔熱杯套中添加隔熱粉末種類變化對溫度的影響：

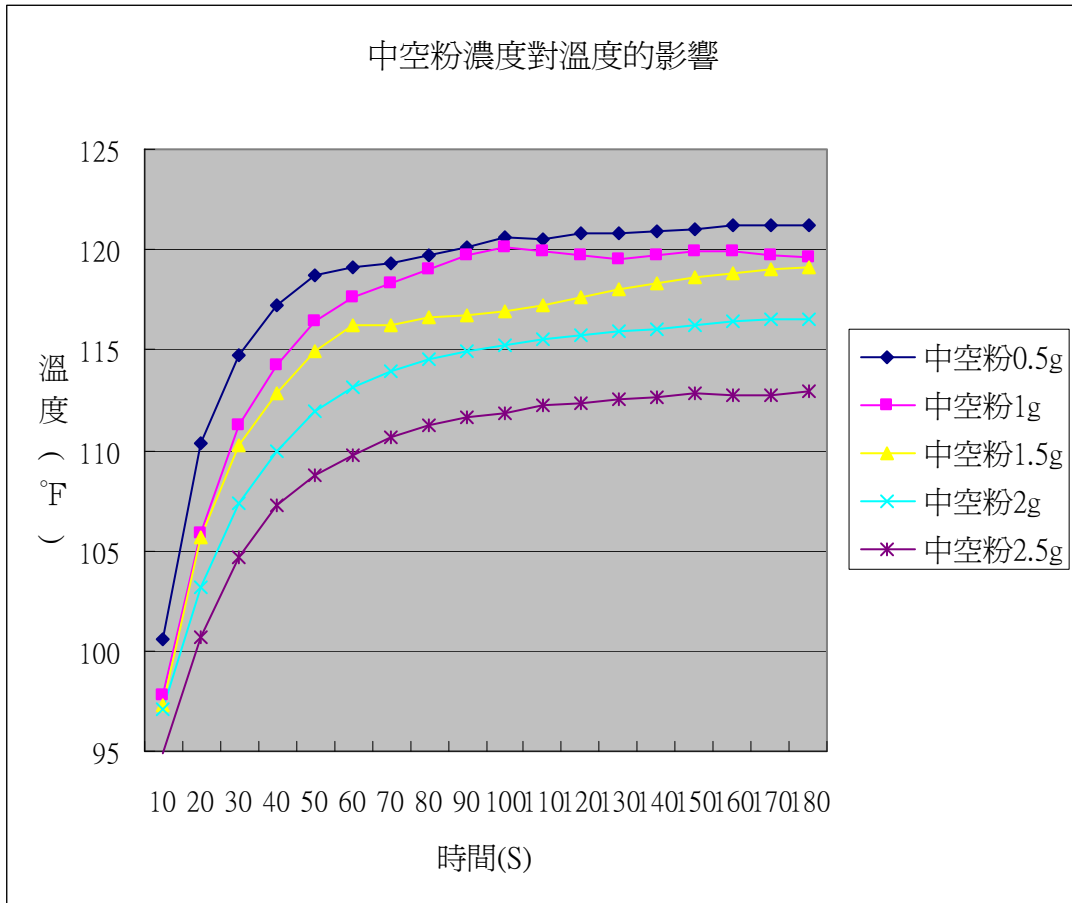
由圖 54 可以知道，在隔熱膠中添加 2.5g 但不同種類隔熱粉末下，sil-32 中空粉及咖啡粉，兩者的隔熱效果皆比沒有添加物的純白膠效果好，且 sil-32 中空粉具有最好且最緩和的溫度上升曲線，升溫速度較慢，達熱平衡所需要的時間最快，末溫最低，表示熱傳遞效果差，隔熱好；而棉中空碳纖維及活性碳兩者溫度上升較為劇烈，且達平衡時溫度最高，隔熱效果皆較純白膠差，其中隔熱效果最差的為乾餾後的棉中空碳纖維。



(圖 54)

二、 添加 sil-32 中空粉濃度變化對溫度的影響：

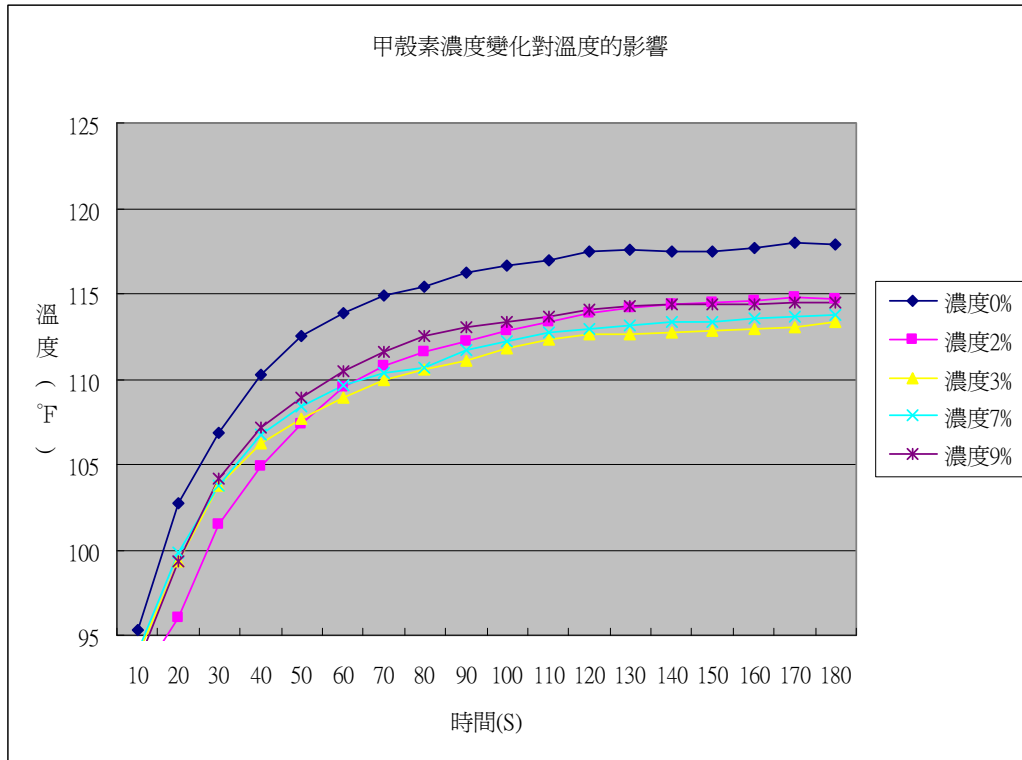
在圖 55 中可以發現，隔熱膠中 sil-32 中空粉的濃度越大，熱傳導越差，隔熱效果越好；當表面溫度接近熱平衡溫度時(大約在 80~180 秒)，添加 sil-32 中空粉的重量越多，則達到熱平衡時的溫度也越低(即末溫也越低)。



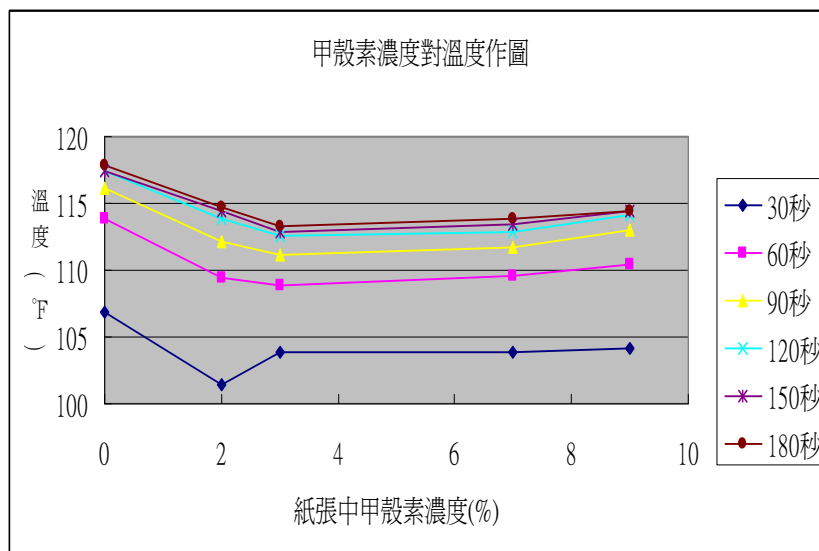
(圖 55)

三、 隔熱杯套紙張中甲殼素濃度變化對溫度的影響：

由圖 56 中可以發現，無添加甲殼素的紙張，隔熱效果最差；添加了 3%的甲殼素的隔熱紙張，在 80 秒後隔熱效果變佳，大約在 100 秒以後，達熱平衡，具有最低的熱平衡溫度。由圖 57 知，甲殼素 2%以下的添加量範圍，當甲殼素添加量越多，則溫度下降越多，代表甲殼素在隔熱杯套中的添加量增加時，溫度下降越明顯，隔熱效果顯著增加；在 3%以上的添加量範圍中，當添加量越多時，溫度上升越明顯，故隔熱效果越差。



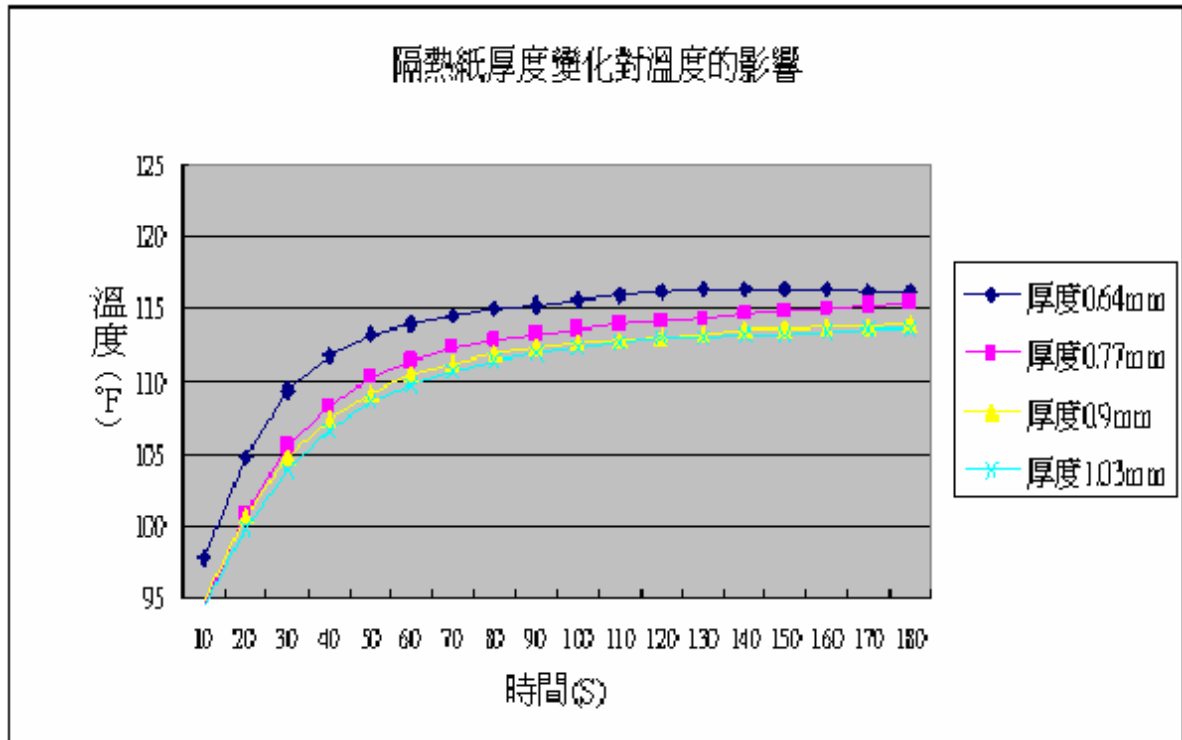
(圖 56)



(圖 57)

四、 隔熱杯套厚度變化對溫度的影響：

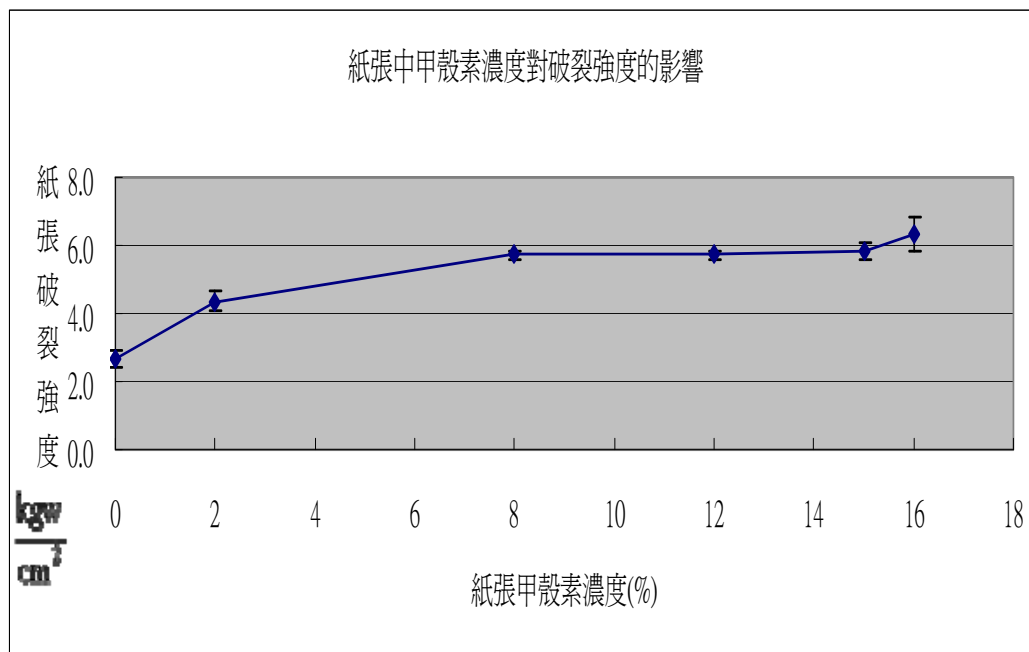
由圖 58，我們可以知道，隔熱杯套接觸熱罐表面的初期，在 0~60 秒期間，紙張厚度增加，則溫度上升越為緩慢，表示熱量傳遞的速率，隨著厚度的增加而減緩；在 100~180 秒期間達到熱平衡，厚度最大者，達熱平衡時的溫度最低，代表隔熱效果越好。



(圖 58)

五、 紙張中添加不同的甲殼素濃度對破裂強度的影響：

由圖 59 可知，當紙張中甲殼素含量越多，破裂強度則越高。在添加濃度 8%以下，甲殼素添加量越多破裂強度越明顯，紙張單位面積能承受的重量就會增加；添加量在濃度 8%~15%間，甲殼素添加量越多，破裂強度並沒有明顯增加；添加量在濃度 15%以上，甲殼素添加量越多，破裂強度又明顯增加。



(圖 59)

六、 隔熱膠片中添加不同體積之中空粉對導熱係數的影響：

我們使用 3M 公司所生產的不同體積的中空粉(D 系列)及 Silbrico 公司所生產的 sil-32 測量導熱係數，列出一組隔熱係數的數據，來計算導熱係數 K 值，結果如表 1：

表 1 隔熱膠片中添加不同中空粉體積對導熱係數的影響					
代號	D1	D4	D46	D51	sil-32
Average partical size (microns by volume)	115	80	70	50	35
隔熱膠片平均厚度 $\Delta X(\text{cm})$	0.0868	0.0658	0.0595	0.0873	0.0779
接觸面積 A(cm)	17.8985	17.5256	23.3165	20.4179	23.7463
融冰時間 t(sec)	300	300	300	300	300
冰室與蒸氣室間金屬板與隔熱膠片熱傳導所融化的水量 Wt(g)	17.35	15.88	19.26	20.02	18.456
冰室與蒸氣室間金屬板熱傳導所的融化水量 Wm(g)	60.33	60.33	60.33	60.33	60.33
冰室與蒸氣室間直接熱傳導所的融化水量 W_0	222.86	222.86	222.86	222.86	222.86
冰室與蒸氣室間金屬板阻擋熱傳導所減少的融化冰量 $W_e = W_0 - W_m$	162.53	162.53	162.53	162.53	162.53
隔熱膠片熱傳導造成的融冰量 $W = W_e + W_t$	179.88	178.41	181.79	182.55	180.99
融冰熱量 $q_x = W \times 80$	14390.16	14272.80	14542.80	14603.68	14478.88
導熱係數 K (卡/秒-公分- $^{\circ}\text{C}$)	2.327×10^{-3}	1.785×10^{-3}	1.237×10^{-3}	2.081×10^{-3}	1.584×10^{-3}

導熱係數實驗共做了三次，取平均之後，結果如表 2。發現當中空粉體積小於 $70 \mu m^3$ 時，導熱係數會隨著中空粉體積減少而增加；但中空粉體積大於 $70 \mu m^3$ 時，導熱係數會隨著中空粉體積增加而增加。(在此，sil-32 中空粉為 Silbrico 公司所生產，中空粉體積介於 $5-300 \mu m^3$ ，範圍過大，難以定量討論，此數據只作為參考)

中空粉型號	D1	D4	D46	D51	sil-32
Average partical size (microns by volume)	115	80	70	50	35
導熱係數 K (卡/秒-公分-°C)	1.974×10^{-3}	1.584×10^{-3}	1.354×10^{-3}	1.777×10^{-3}	1.479×10^{-3}

陸、 討論

一、 隔熱杯套中添加隔熱物質種類變化對熱罐表面溫度的探討：

我們在隔熱膠中添加相同克數(2.5g)但不同種類的隔熱粉末，在圖 54 可以知道，sil-32 中空粉及咖啡粉，兩者的隔熱效果比純白膠效果好，這是因為 sil-32 中空粉含有較多的不流動空氣，熱傳導極差；而咖啡粉主要成分為纖維素，其本身是熱的不良導體，加上烘焙後，殘留在粉末中的孔隙保留了空氣，減少了熱量向外傳遞的能力，讓杯套外表可以保持較低的溫度。

棉中空碳纖維及活性碳兩者隔熱效果皆較純白膠差，這是因為棉中空碳纖維及活性碳雖然保有中空纖維的特性，但其纖維中的孔隙扁小，不能夠容納足夠的空氣來減少熱傳遞，且植物纖維乾餾後成為碳纖維，其導熱效果較纖維素好，故與純白膠比較，會得到較好的熱傳遞效果，隔熱效果差，其中棉中空碳纖維是效果最差的隔熱粉末。

我們取用上述實驗中隔熱效果最好的 sil-32 中空粉進行濃度變化實驗，其結果在討論二。

二、 添加 sil-32 中空粉的隔熱杯套濃度變化對熱罐表面溫度的探討：

使用同一種的隔熱粉末(sil-32 中空粉)，依不同的重量加入隔熱膠中，由圖 55 中可以發現，添加中空粉重量越多，溫度上升曲線越為平緩，表示 sil-32 中空粉中，不流動的空氣量隨著 sil-32 中空粉末在隔熱膠中的重量百分濃度增加而增加，這種不流動的空氣明顯阻止熱傳遞到隔熱杯套外側，讓隔熱效果更明顯增加，故隔熱杯套外側溫度上升越為緩和，隔熱效果越佳。

三、 隔熱紙張中甲殼素濃度變化對熱罐表面溫度變化的探討：

相同厚度的隔熱紙張中吸附不同質量的甲殼素，在圖 56 中可以發現，60 秒後，添加了 3%甲殼素的隔熱紙張比沒添加甲殼素的隔熱紙張，隔熱效果較佳，這是因為甲殼素本身為熱的不良導體，乾燥後使得紙質硬且堅挺，可以讓空氣較容易存在於甲殼素及纖維素的縫隙中(類似保麗龍的保溫效果)，故隨著甲殼素的添加量增加，保留在纖維縫隙中的空氣量也會增加，使得隔絕熱越好。

由附圖 57 可知，當甲殼素吸附量超過 3%時，隨著甲殼素吸附量的增加，熱傳遞效果反而變好，這是因為多餘的甲殼素高分子佔據了隔熱紙張纖維素間的縫隙，取代了不流動空氣的空間，使得熱量得以藉由甲殼素及纖維素接觸面積的增加，提升了熱傳導效果，造成絕熱效果差。

四、 隔熱紙張厚度變化對溫度的影響：

如圖 28~30，利用重疊紙張的方法，製造出不同厚度的隔熱紙張。由圖 58 可知，隔熱杯套接觸熱罐表面在 100 秒以後幾乎達熱平衡，厚度最大者，達熱平衡時的溫度最低，原因是重疊紙張，增加紙的厚度，可以讓每一張紙的內外兩側溫度差變小(如附圖 53)，降低了紙張內外的溫度差，就可以減緩熱快速傳遞到外界，因此隔熱紙張厚度越厚，溫度上升曲線越緩和，表示隔熱效果越好。

五、 紙張中甲殼素濃度對破裂強度的影響：

由圖 59 中，我們發現濃度 8%以下，破裂強度會隨甲殼素濃度增加而有陡升現象，這是因為甲殼素高分子的分子鏈進入到纖維素縫隙間，與纖維素分子產生新的分子間吸引力，此額外的吸引力使得甲殼素分子與茛白筍殼內的纖維素分子更緊密的結合，減少分子鏈之間的滑動，所以紙張單位面積能承受的重量就會增加；當甲殼素濃度介於 8%~15%時，破裂強度隨甲殼素濃度增加而緩和上升，乃因甲殼素分子與纖維素分子間新的結合力緩慢增加，使得破裂強度上升不明顯；濃度 15%以上，甲殼素添加量越多，破裂強度又明顯增加，這是因為多餘的甲殼素分子無法進入纖維素間的縫隙，而在表面形成一層新的甲殼素薄膜，如圖 39，此薄膜與茛白筍殼紙緊密結合，如同疊紙效應，使得破裂強度增加。

六、 隔熱膠中添加不同體積的中空粉對導熱係數的影響：

決定隔熱膠性質的材料因素，包含的玻璃、白膠及不流動空氣三部份。我們測量隔熱膠片的體積及質量等數據，再利用公式 2 推算出隔熱膠片中中空粉體積，計算程序如下：

$$\text{密度} = \frac{\text{質量}}{\text{體積}} \quad (\text{公式 2})$$

Step1 算出純白膠密度：

$$\text{純白膠密度} = \frac{\text{純白膠質量}}{\text{純白膠體積}}$$

Step2 算出隔熱膠片中純白膠重量：

$$\text{隔熱膠片中純白膠質量} = \text{隔熱膠片質量} \times \left(\frac{\text{乾膠質量}}{\text{含中空粉的乾膠質量}} \right)$$

Step3 計算隔熱膠片中純白膠體積：

$$\text{隔熱膠片中純白膠體積} = \frac{\text{隔熱膠片中純白膠的質量}}{\text{純白膠的密度}}$$

Step4 計算隔熱膠片中的中空粉體積：

隔熱膠片中的中空粉體積 = 隔熱膠片的整體體積 - 隔熱膠片中純白膠體積
計算後，數據如表 3

項目		D1	D4	D46	D51
中空粉末尺寸 μm^3		115	80	70	50
隔熱膠片平均厚度 $\Delta X(\text{cm})$		0.0868	0.0658	0.0595	0.0873
隔熱膠片的體積(cm^3)		5.67	3.96	3.31	5.12
純白膠密度(g/cm^3)		1.22	1.22	1.22	1.22
製作隔熱膠片的預備材料	中空粉+純白膠乾膠質量(g)	11.20	11.20	11.20	11.20
	添加中空粉的質量	1.0	1.0	1.0	1.0
隔熱膠片質量(g)		3.05	3.41	3.17	4.84
隔熱膠片中中空粉的質量		0.27	0.30	0.28	0.43
純白膠在隔熱膠片中質量(g)		2.78	3.10	2.89	4.41
隔熱膠片中純白膠體積(cm^3)		2.27	2.54	2.36	3.61
隔熱膠片中中空粉體積(cm^3)		3.40	1.42	0.95	1.51

由表 3 可知，中空粉尺寸介於 $70\sim 115\mu\text{m}^3$ 間，當體積越大時，其導熱係數越好(隔熱差)，這是因為我們製作的隔熱膠片太薄，且隔熱膠片內中空粉所佔的體積太多，造成中空玻璃球之間的距離太緊密，熱量容易藉由導熱係數高的玻璃球傳到外界，造成導熱效果良好，且可以發現，中空粉體積越大其導熱係數與玻璃的導熱係數越相近；而 D46 中空粉，在隔熱膠片中有較少的體積，使得中空粉玻璃球間的距離較遠，使玻璃不易接觸，傳導熱量變小，而可以讓玻璃球內的不流動空氣及白膠分子發揮最佳的隔熱的效果。也就是說，體積 $70\mu\text{m}^3$ 是最佳的體積大小。

柒、 結論

- 一、 隔熱膠的添加物選擇使用中空粉末，可以得到優良的隔熱效果。
- 二、 隔熱膠內的中空粉濃度越大則熱量傳遞到外界的效果越差，隔熱效果好。
- 三、 隔熱紙張吸附的甲殼素重量控制在 3%，可以得到最好的隔熱效果。
- 四、 隔熱紙張厚度越大，紙張內的溫度梯度較小，隔熱效果越好。
- 五、 甲殼素濃度 16%時，破裂強度最佳。
- 六、 比較所有隔熱膠添加物，發現添加 D46 中空粉可以得到最佳的隔熱效果。
- 七、 建議替換目前市售的不環保隔熱杯套，而改用質量輕，隔熱好，強度好且生物易分解性的環保隔熱杯套，可以減少森林砍伐，降低大氣二氧化碳數量，如此才能維持綠色地球永續經營。

捌、 參考資料

[1] 菱白

<http://www.hljh.tcc.edu.tw/teach/%E6%A0%A1%E5%9C%92%E6%A4%8D%E7%89%A9%E8%8C%AD%E7%99%BD/%E8%8C%AD%E7%99%BD.htm>

[2] 莊峻傑等人，國中理化課本第三冊，5-3 熱的傳播方式，初版，台南市，南一出版社，第 p136~143 頁，民國 99 年。

[3] 林水盛，大學物理(上)，初版，台北縣，新文京開發出版有限公司，第 p13-29 頁，民國 94 年。

[4] 謝玠揚等人，民國 92 年，“改進幾丁聚醣生醫材料製備方法對其機械性質之影響，生醫材料及藥物制放研討會論文集，第 99-100 頁，台北市。

[5] 林水盛，大學物理(上)，初版，台北縣，新文京開發出版有限公司，第 p13-29 頁，民國 94 年。

【評語】 030108

本作品整體而言是件執行細緻完整的佳作，唯限於題材沒有空間作更大的發揮，是蠻可惜的。