中華民國第54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

030818

“光”鍵隔熱－揭開隔熱紙的神秘面紗

學校名稱：桃園縣立平興國民中學

作者：	指導老師：
國二 簡廷軒 國二 黃承旭	鍾佩君

關鍵詞：隔熱紙、光譜、溫度

摘要

我們研究貼了不同隔熱紙的玻璃片放在玻璃箱上，觀察玻璃箱內溫度改變情形，並測量其穿透光譜，定量分析溫度變化與穿透光譜的關係。具有隔熱性能之隔熱紙能將紫外光與部分紅外光隔絕於車外（室外），並隔離部分可見光，有效降低熱能傳導至車內。由實驗結果可發現，較黑或較亮的隔熱紙，可見光的穿透率較低，而較透明的隔熱紙，可見光穿透率較高，另外，分析可知，玻璃箱內的溫度變化，主要是受到紅外光的穿透率影響，紅外光穿透率越高，其玻璃箱內溫度變化越大，且可見光穿透率亦會對箱內溫度有些許影響，但不如紅外光顯著；濕度的大小，亦會影響箱內溫度變化。因此，我們了解到，對於隔熱紙的挑選，最重要的是須確認此種隔熱紙對紅外光的隔絕阻效果。

壹、研究動機

八年級的自然與生活科技第五章，我們學到溫度與熱的概念，讓我們對七年級所研究的科展主題—隔熱紙，再次燃起探究的心。日前暑假，我們家族去旅行，一共開了四部家用休旅車，當天天氣晴朗、艷陽高照，南部高溫到達 35 度，在車子啓程時，發現一個有趣的現象，就是，雖然我們停在相同大太陽照射的停車場中，四部休旅車內部的溫度卻不相同，經觀察發現，四部車的隔熱紙不相同，有的車貼較深的，有的貼較淺的，因此我們好奇隔熱紙對溫度是否真的有影響呢？每一位車主都聽業務員說自己的隔熱紙是最好的，但實際上爲什麼有這麼大的差別？到底是不是越黑的隔熱紙隔熱效果越好？什麼樣的隔熱紙才能有效的隔熱？隔熱紙真的有隔熱的功效嗎？如何才能降低冷氣的使用，以達到省油、省電、節能減碳的功效？引發我們對隔熱紙產生很大的好奇，七年級實驗時，懵懵懂懂當中，仍然有許多不懂之處，在八年級學過了第四章的光及第五章溫度與熱，讓我們決定更深入的去探究隔熱紙的秘密。

貳、研究目的

一、探究不同隔熱紙，其空箱內部溫度變化與照光時間的關係。
二、定量測量隔熱紙與貼上隔熱紙之玻璃片的穿透光譜。
三、分析不同隔熱紙其空箱溫度變化，與其穿透光譜的關係。
四、觀察空箱內部濕度與照光時間的關係。
五、透視度與穿透光譜關係。

參、研究設備及器材

一、實驗材料

(一)、玻璃 9 片（18cm╳26cm╳0.5cm）（圖 3.1）

(二)、隔熱紙 8 片（18cm╳26cm╳ 0.005 cm）

(三)、玻璃箱 1 個（14cm╳23cm╳0.5cm）

二、實驗器具

(一) 貼隔熱紙用具

1. 衛生紙一包
2. 噴水器一個（圖 3.2）
3. 洗碗精一瓶
4. 刮刀一個（圖 3.3）
5. 1.7cm 電線膠布 1 捲

(二) 溫控設備

1. 鋁箔紙一捲
2. 250 瓦探照燈一個（圖 3.4）
3. 軟墊三片（60cm╳30cm╳ 7cm）（圖 3.5）
4. 鐵架三個（圖 3.6）
5. 冷暖器 1 個（圖 3.7）
6. 電暖器 1 個 （圖 3.8）

三、實驗設備

(一) 電子溫濕度計 2 個（溫度：± 1℃；溼度：± 5%RH ）（圖 3.9）

(二) 計時器 1 個

(三) 光柵式分光光譜儀—Perkin Elmer Lambda 900 （圖 3.10）

圖 3.1　玻璃箱

圖 3.2 噴水器

圖 3.3　刮刀

圖 3.4　採照燈（鋁箔紙）

圖 3.5　軟墊

圖 3.6　支架

圖 3.7　冷暖器

圖 3.8　電暖器

圖 3.9　電子濕溫度計

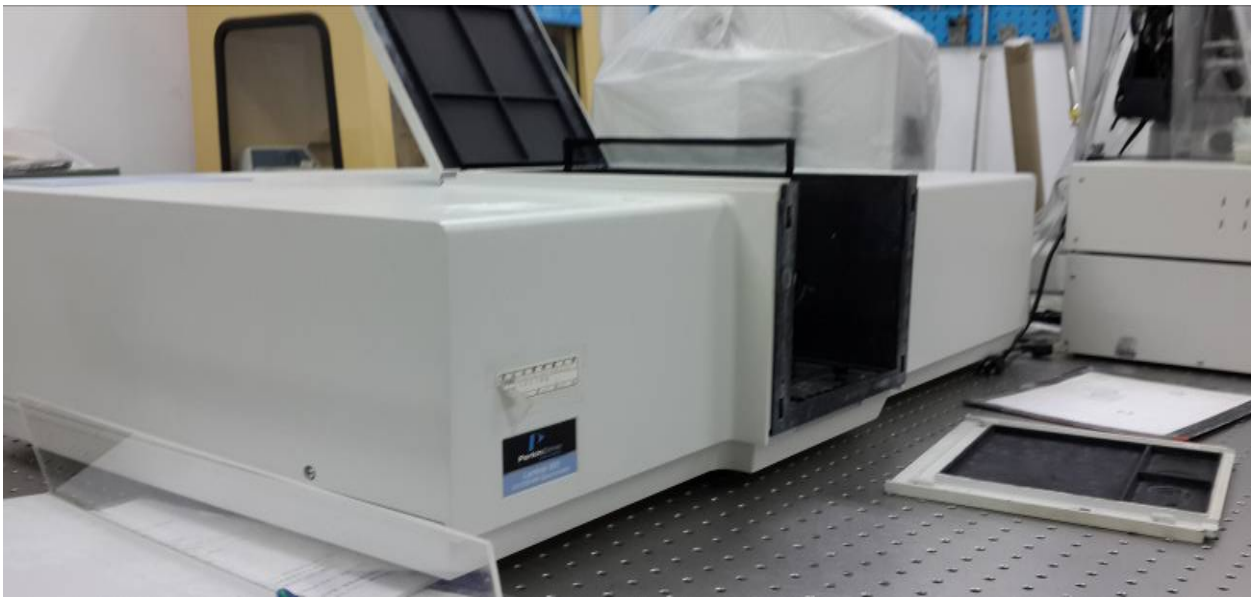

圖 3.10　光柵式分光光譜儀

肆、研究過程與方法

圖 4.1 為研究流程分析圖，為了探討不同隔熱紙對於車內溫度的變化及影響，我們控制探照燈與箱的距離，找出較佳的實驗距離，並且控制箱外的溫度，使實驗的起始溫度接近，並運用對隔熱紙的光譜量測實驗解開我們對於隔熱紙的疑問。

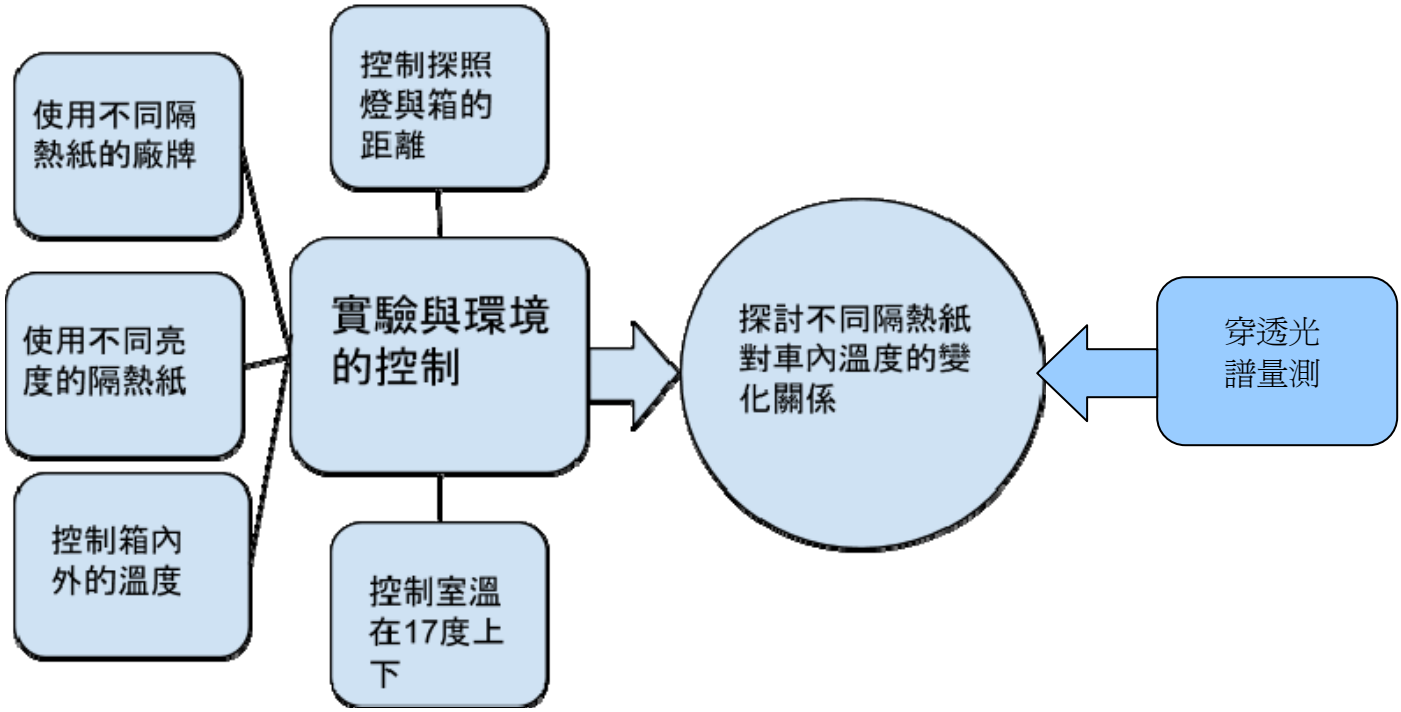

圖 4.1　研究流程分析圖

一、 隔熱紙資料蒐集

經由自然課所學的熱量公式Ｈ＝ｍｓΔＴ，我們瞭解到，影響溫度變化的因素包含熱量多寡，物體的質量與比熱。本次的實驗，我們主要是探討熱量對溫度變化的影響，因此蒐集了不同的隔熱紙，研究不同亮度、廠牌的隔熱紙在受熱後對空箱內部的隔熱效果；而在光學課程我們也瞭解，太陽光能量分佈波段包括 100~380 nm 的紫外光、380~780 nm 的可見光、與 780~2500 nm 的紅外光，圖 4.2 為太陽光能量分佈圖，由光學課程我們瞭解，隔熱紙是黑、亮或透光，主要是由可見光影響，而一般所談的隔”熱”主要就是要將可見光，紅外光等波段隔絕，但又因可見光影響行車視線，所以，隔熱紙組成就是要能兼顧透視，隔熱之效果。

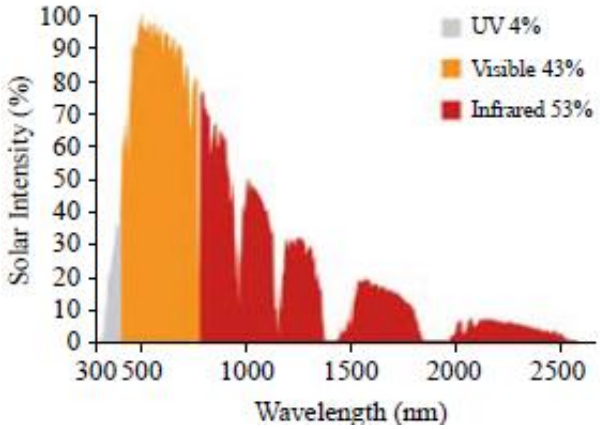

圖 4.2 太陽光能量分佈圖

市面上隔熱紙主要目的是減少紅外光進入車內，以減少冷氣的使用。隔熱紙爲多層的不同物質組成，圖 4.3 爲隔熱紙基本結構圖，主要可分爲耐磨層、隔熱塗層基材，感壓式汽車膠與離形膠。耐膜層的目的是避免施工時刮傷或是日後玻璃貼上隔熱紙後磨損影響視線與隔熱效果，隔熱圖層基材主要是 PET 聚酯材料，在此聚酯紙上塗佈有機染料或是金屬塗層，皆可達到隔絕紅外光的效果。感壓式膠膜層爲黏貼於玻璃上的黏著劑。離型膜則是感壓式膠膜層的保護層，在使用隔熱紙時需撕去。

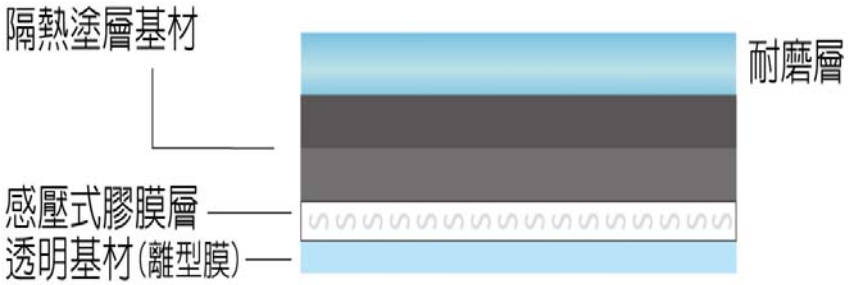

圖 4.3 隔熱紙基本結構圖

二、實驗器材準備

(一) 實驗前材料準備

1. 至玻璃行剪裁九片玻璃。
2. 挑選八款隔熱紙，有易透光的，較黑不易透光的以及易反光的。
3. 將隔熱紙貼於玻璃上，黏貼步驟如下：
   (1). 將洗碗精裝入噴水器中，將洗碗精噴灑於玻璃表面(圖 4.4)。
   (2). 利用刮刀將玻璃表面刮乾淨(圖 4.5)。
   (3). 撕去隔熱紙的離型膜，再將隔熱紙貼於玻璃上(圖 4.6)。
   (4). 在玻璃邊緣貼上電線膠布(圖 4.7)。
   (5). 重複以上步驟完成八片貼上隔熱紙的玻璃片，一片玻璃片不貼(圖 4.8)。

圖 4.4　噴灑洗碗精

圖 4.5　將玻璃刮乾淨

圖 4.6　貼上隔熱紙

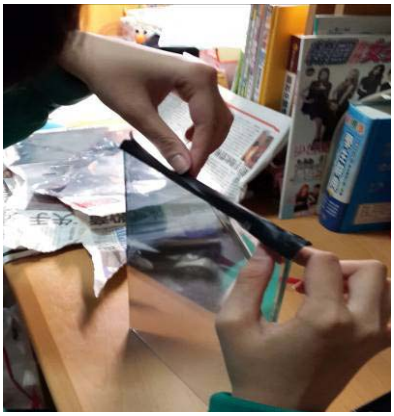

圖 4.7　貼電線膠布

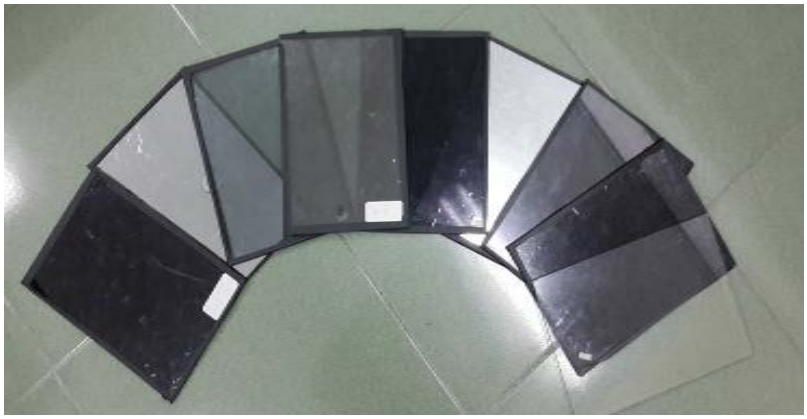

圖 4.8　貼上隔熱紙的玻璃片完成品

(二) 環境初溫恆溫控制

1. 選擇較密閉的空間，學校的教具儲藏室，並在儲藏室的地上與兩側墊好軟墊，防止外界的溫度變化干擾 。(e× ：地板傳導)。
2. 準備冷暖器與電暖器，調控每次實驗的環境溫度。
3. 放置電子溫度計於軟墊間，以測量環境溫度。

(三) 實驗器材架設

1. 利用三個鐵架上面的可調式鐵環，放置探照燈模擬太陽（圖 4.9）。
2. 放置玻璃箱於鐵架下方 ， 在玻璃箱內部放入電子溫度計， 並在玻璃箱上方依序放入透明玻璃片或貼上隔熱紙的玻璃片模擬汽車內的密閉空間 （圖 4.10）。

3、溫度與溼度量測實驗步驟：

(一) 測量不同探照燈與玻璃箱距離，其照光時間與箱內溫度及溼度。

1. 調整探照燈至空箱距離，依序為 13.5 cm、15.5 cm 與 17.5 cm。
2. 探照燈開啓後，調控照光時間由 0 秒至 1200 秒，每隔 30 秒測量一次空箱內的溫度與濕度並紀錄。

3. 找出最適合進行實驗的探照燈至空箱的距離。

(二) 固定探照燈與玻璃箱的距離，放置不同隔熱紙，測量箱內溫度及溼度。

1. 放置貼上 A 牌隔熱紙的玻璃片與玻璃箱上（圖 4.11）。
2. 探照燈開啓後，調控照光時間由 0 秒至 1200 秒，每隔 30 秒紀錄一次箱內的溫度與濕度，並同時紀錄環境溫度與溼度。
3. 探照燈開啓至 1200 秒後，關閉探照燈，並且等待環境與玻璃箱內的溫度下降。
4. 降溫完畢，再依序分別於玻璃箱上，放置貼了 B 牌、C 牌、D 牌、E 牌、F 牌、G 牌與 H 牌隔熱紙的玻璃片，並重複以上 1~3 步驟。

圖 4.9　架設探照燈

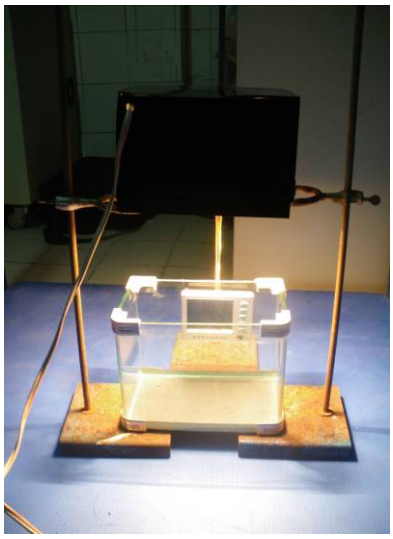

圖 4.10　放置玻璃箱

圖 4.11　放置玻璃片

四、隔熱紙的穿透光譜量測

(一) 光譜儀先熱機 15 分鐘（圖 4.12）。

(二) 先測量空洞當作穿透光譜的背景（圖 4.13）。

(三) 在空洞上貼上隔熱紙，光譜測量波段調整爲 190 nm 到 2600 nm，開始進行隔熱紙的穿透光譜量測（圖 4.14）。

(四) 將不同品牌的隔熱紙貼在玻璃片上，光譜測量波段調整爲 190 nm 到 2600 nm，開始進行貼了隔熱紙的玻璃片之穿透光譜量測(圖 4.15~16)。

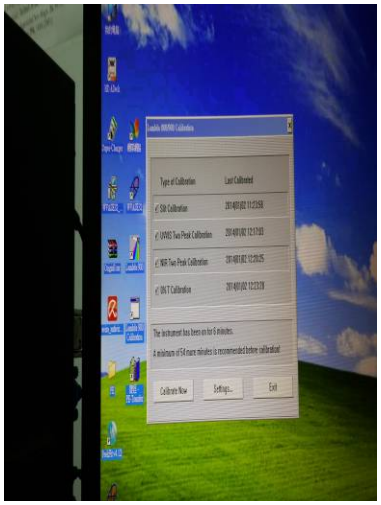

圖 4.12　光譜儀熱機

圖 4.13　測量空洞

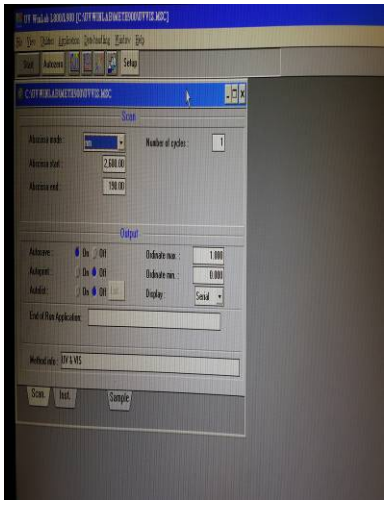

圖 4.14　調整測量波段

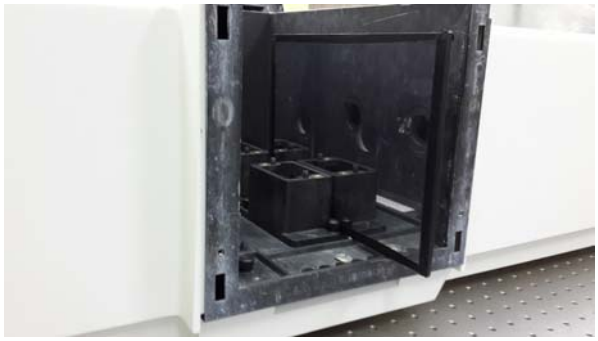

圖 4.15　放置貼上隔熱紙的玻璃片樣品

圖 4.15　蓋上遮光布並關燈

五、運用 Microsoft Office Excell 與 Origin 繪圖軟體，進行實驗數據繪圖，並進一步對實驗圖形進行說明。

伍、研究結果

一、測量不同探照燈與玻璃箱距離，其照光時間與箱內溫度(表 8.1)與溼度(表 8.2)：

圖 5.1 ~ 2 分別爲不同距離下，照光時間與箱內及環境溫度關係圖，由圖 5.1 可知，當探照燈至玻璃箱距離爲 13.5 cm 時，隨著照光時間由 0~1200 秒，箱內溫度由 15.9 ℃上升至 47.3 ℃，溫度變化爲 31.4 ℃；距離爲 15.5 cm 時，箱內溫度是由 17.1 ℃上升至 43.6 ℃，溫度變化爲 26.5 ℃；距離爲 17.5 cm 時，箱內溫度是由 17.6 ℃上升至 42.0 ℃，溫度變化爲 24.4 ℃，如表 5.1 爲距離與箱內溫度變化表；圖 5.2 可知環境溫度變化在 2 ℃以內。由以上結果發現，探照燈與箱內的距離遠，溫度變化越較小，探照燈與箱內的距離近，溫度變化較大。若要讓熱對玻璃箱影響效果增加，我們讓探照燈距離接近玻璃箱較好，所以我們使用了 13.5 cm 這個距離來進行之後所有的隔熱效果的測量實驗。

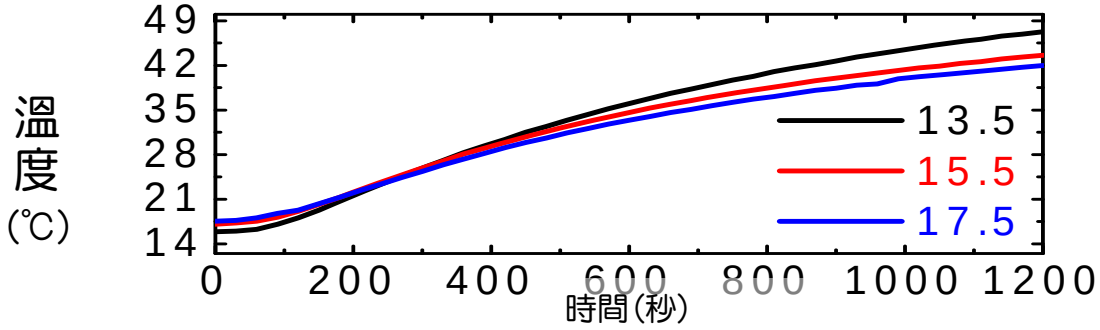

圖 5.1　不同距離，照光時間與箱內溫度關係圖。

表 5.1 距離與箱內溫度變化表

溫度(℃)	照射時間		0~1200 s
距離(cm)	0 秒	1200 秒	溫度變化
13.5	15.9	47.3	31.4
15.5	17.1	43.6	26.5
17.5	17.6	42	24.4

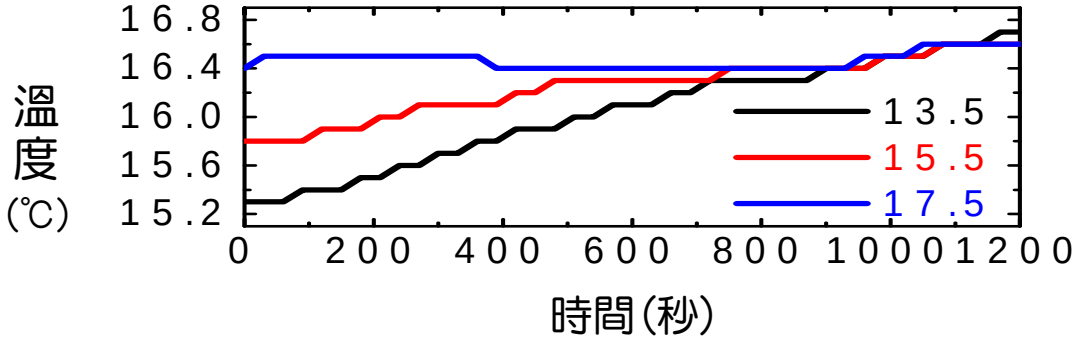

圖 5.2　不同距離，照光時間與環境溫度關係圖。

熱源每分鐘供熱速率一定，且由熱量公式，H＝m s ΔT，因此加熱時間除上溫度變化

將與箱內空氣質量與比熱的乘積之倒數成正比。

$$\frac{\Delta T}{t} \alpha \frac{1}{ms}$$

上式中，t 代表照光時間，ΔT 代表溫度變化，m 代表空氣質量，s 代表空氣比熱。我們進一步分析在單位時間（30 秒）內的溫度變化，進而去判斷箱內空氣的質量與比熱乘積的變化關係圖。圖 5.3 爲不同距離下，單位照光時間與箱內溫度變化關係圖。由此圖我們可發現在照光時間前 200 秒內，單位時間內的溫度變化逐漸增加，此代表，箱內的空氣的質量與比熱乘積逐漸減少，而照光時間累計至 200 秒後，箱內的空氣的質量與比熱乘積逐漸增加。

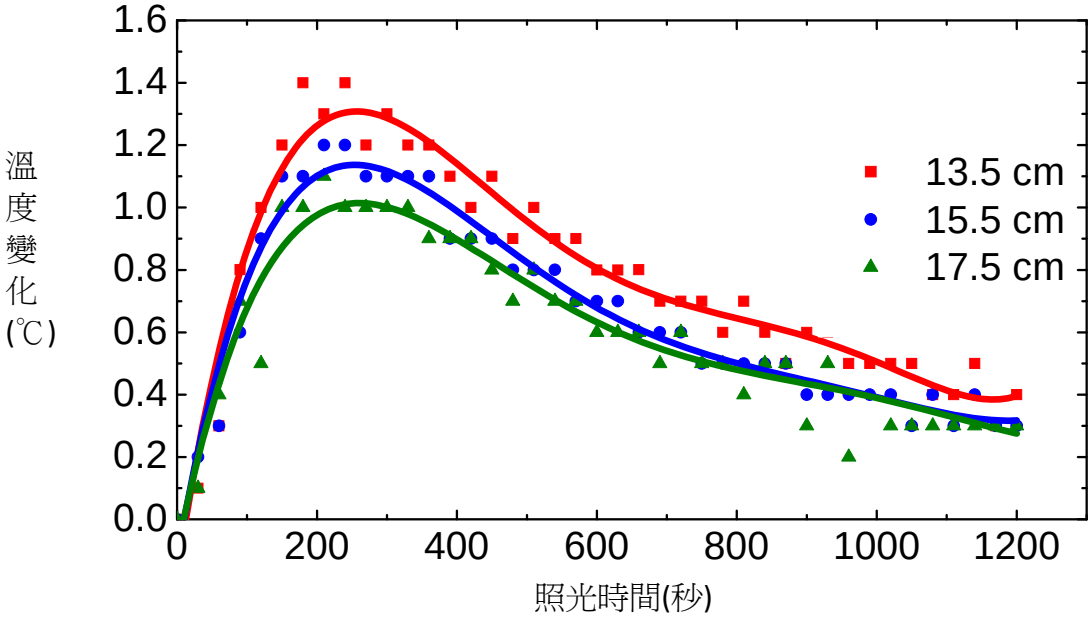

圖 5.3　不同距離下，單位照光時間與箱內溫度變化關係圖。

圖 5.4 ~ 5 分別爲不同距離下，照光時間與箱內及環境濕度關係圖，由圖 5.4 可發現有趣的現象，照光時間在 200 秒內，箱內溼度持續上升，推測原因，透明玻璃片經過探照燈照射，是因爲箱內濕度尚未穩定下來， 所以持續上升，但過 200 秒後，空氣中的水氣因箱內溫度上升使得蒸發速率大於凝結速率，使得濕度隨著照射時間變長而逐漸下降。由圖我們也可以發現，當距離爲 13.5 cm，其溼度變化是最大的，造成此現象的原因爲其箱內溫度變化最大。由此可得知，距離越近的溼度降得愈快，但到了 1200 秒的時候，三者的溼度相近，由圖 5.5 可知，當熱源距離空箱的距離爲 13.5 cm 時，環境溼度變化最小，而距離爲 17.5 cm 時，環境溫度變化最大，此亦可說明取 13.5 cm 爲較好的實驗距離。

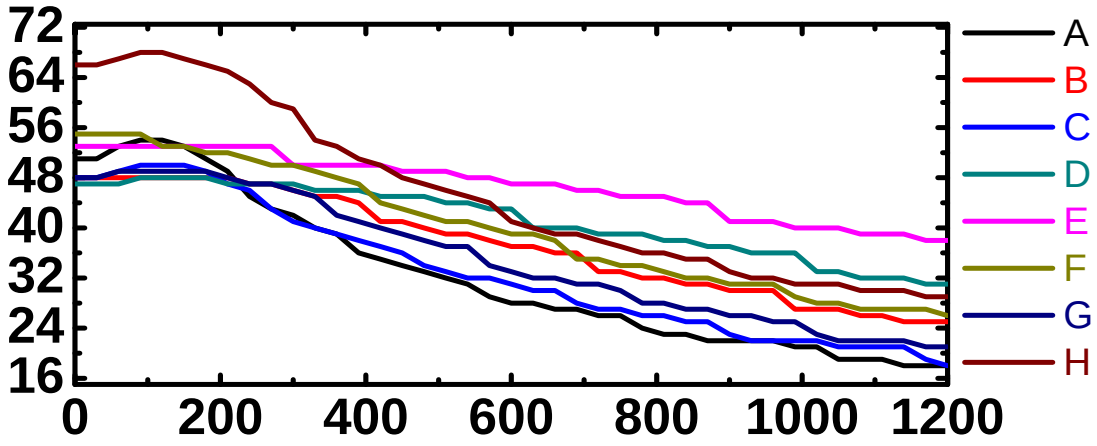

圖 5.4　不同距離，照光時間與箱內濕度關係圖

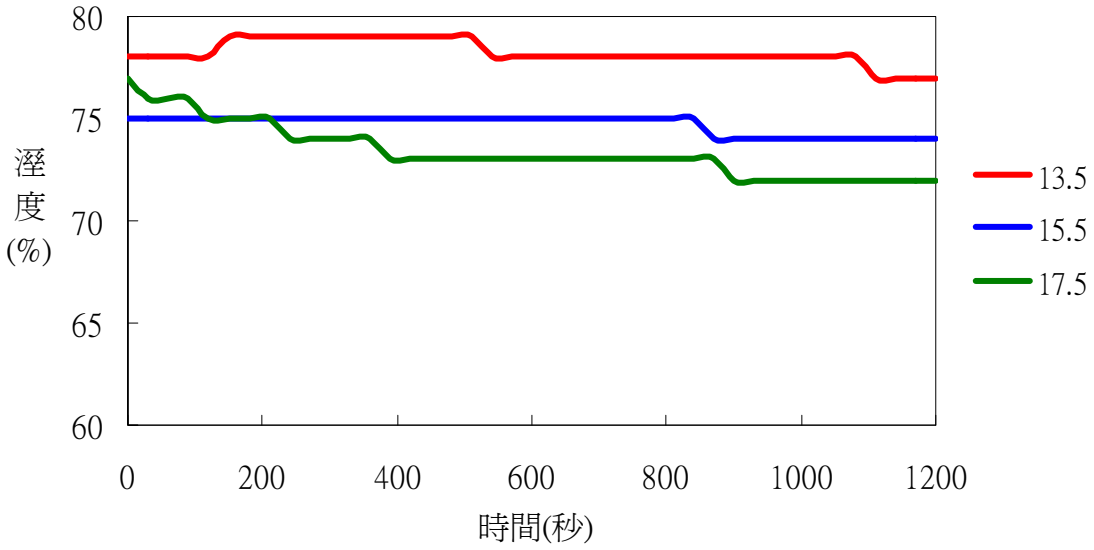

圖 5.5　不同距離，照光時間與環境濕度關係圖

二、固定探照燈距離(13.5 cm)，使用貼上不同隔熱紙玻璃片

表 5.2 為貼了不同隔熱紙，空箱內部在照光時間 1200 秒期間，每隔 30 秒測量一次箱內溫度實驗數據表。

表 5.2 不同品牌隔熱紙與箱內溫度表

	時間(秒)	A	B	C	D	E	F	G	H
0	0	18.2	17.8	18	17.9	16.5	17.2	17.2	17.6
1	30	18.3	17.8	18	17.9	16.4	17.1	17.6	17.6
2	60	18.4	17.8	18.2	18	16.5	17.3	17.8	17.8

	時間(秒)	A	B	C	D	E	F	G	H
3	90	18.9	18	18.5	18.1	16.5	17.4	17.9	18.1
4	120	19.6	18.3	19.1	18.1	16.6	17.8	18.3	18.6
5	150	20.4	18.5	19.8	18.3	16.8	18.1	18.8	19.1
6	180	21.4	18.9	20.5	18.4	16.9	18.5	19.3	19.7
7	210	22.3	19.3	21.3	18.7	17.1	18.9	19.8	20.3
8	240	23.3	19.8	22.1	18.9	17.2	19.4	20.4	20.9
9	270	24.3	20.2	22.9	19.1	17.4	19.9	21	21.8
10	300	25.2	20.6	23.6	19.4	17.6	20.4	21.7	22.2
11	330	26.1	21.1	24.4	19.6	17.8	21	22.3	22.8
12	360	27.1	21.6	25.3	19.9	18	21.5	23	23.4
13	390	27.9	22.3	26.1	20.2	18.2	22.1	23.6	24.1
14	420	28.8	22.6	26.8	20.4	18.4	22.6	24.3	24.6
15	450	29.6	23.1	27.5	20.8	18.6	23.1	25	25.2
16	480	30.4	23.6	28.3	21.1	18.9	23.7	25.5	25.8
17	510	31.2	24.1	29	21.4	19.1	24.3	26.7	26.3
18	540	32	24.7	29.7	21.7	19.4	24.8	27.4	26.8
19	570	32.8	25.3	30.4	22.2	19.6	25.4	27.8	27.4
20	600	33.5	25.8	31.1	22.4	19.9	25.9	28.6	27.9
21	630	34.4	26.3	31.8	22.8	20.2	26.5	29.5	28.4
22	660	34.9	27.1	32.4	23.1	20.4	27.1	29.9	28.9
23	690	35.6	27.4	33.1	23.4	20.7	27.6	30.9	29.4
24	720	36.3	27.9	33.8	23.8	21	28.1	31.3	29.9
25	750	37	28.5	34.4	24.2	21.4	28.7	32	30.4
26	780	37.7	29.1	35.1	24.6	21.6	29.3	32.7	31
27	810	38.3	29.6	35.7	24.9	21.9	29.8	33.3	31.3
28	840	38.9	30.1	36.3	25.3	22.2	30.4	34	31.8
29	870	39.6	30.7	36.9	25.7	22.4	30.9	34.6	32.3
30	900	40.2	31.2	37.6	26.1	22.8	31.4	35.3	32.7
31	930	40.8	31.7	38.1	26.4	23.1	32	35.9	33.1
32	960	41.4	32.3	38.2	26.9	23.3	32.5	36.5	33.6
33	990	41.9	32.8	39.3	27.3	23.6	33.1	37.1	34
34	1020	42.5	33.3	39.9	27.6	23.9	33.6	37.8	34.4
35	1050	43.1	33.8	40.4	28	24.3	34.1	38.5	34.9
36	1080	43.6	34.3	41	28.4	24.6	34.8	38.9	35.3
37	1110	44.1	34.8	41.6	28.8	24.9	35.1	39.6	35.7
38	1140	44.6	35.3	42.1	29.2	25.1	35.3	40.1	36.1
39	1170	45.2	35.7	42.6	29.6	25.4	35.6	40.8	36.7
40	1200	45.7	36.2	43.2	29.9	25.8	35.9	41.3	36.9

圖 5.6 ~ 7 分別爲貼了不同隔熱紙，照光時間與箱內及環境溫度關係圖。由圖 5.6 可知，在照光時間 0~1200 秒期間，貼了 A 牌到 H 牌隔熱紙箱內溫度變化大小排列順序依序爲：

A牌 ＞ C牌 ＞ G牌 ＞ H牌 ＞ B牌 ≒ F牌 ＞ D牌 ＞ E牌

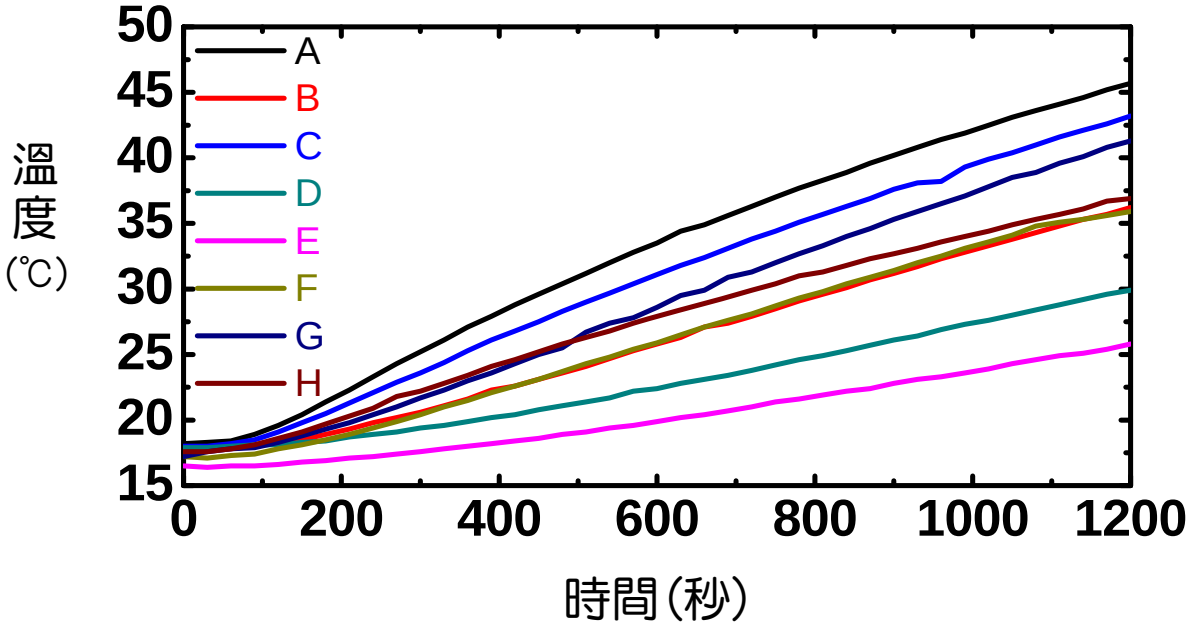

圖 5.6　貼不同隔熱紙，照光時間與箱內溫度關係圖

表 5.3 爲貼不同隔熱紙，照光時間與0秒 ~ 1200秒箱內溫度變化表，我們發現 A 牌隔熱紙看起來介於亮與深之間，其箱內溫度變化最大，此代表 A 牌隔熱紙隔熱效果最不佳，若汽車貼了此牌隔熱紙，車內溫度上升會較爲顯著，相對的需要開啓的汽車冷氣也會較強。E 牌隔熱紙看起來較接近黑色，實驗發現，其箱內溫度變化最小，此代表 E 牌隔熱紙隔熱效果最佳，若汽車貼了此牌隔熱紙，車內溫度上升會較不顯著，相對的需要開啓的汽車冷氣也會較弱，貼了此牌隔熱紙，可達到節能減碳的功效。

B 牌與 F 牌的隔熱紙爲同一品牌的產品，兩者皆爲顏色較黑的隔熱紙，實驗發現箱內溫度變化無顯著的差別，所以這家廠商的隔熱紙隔熱效果差異不明顯。**隔熱效果較佳的E牌與D牌的隔熱紙，兩者看起來顏色差別極大，前者是黑，後者而是亮，由光學概念我們可知，黑的隔熱紙，主要可以吸收可見光，而亮的玻璃紙，主要是反射可見光**，兩種方式隔熱，隔熱效果皆佳。G牌與H牌的隔熱紙在 600 秒之前，兩者的溫度變化無太大差異，但過了 600 秒後，線段開始有了些變化，其兩牌的隔熱紙顏色皆是亮，可是在最後 1200 秒時，溫度卻不盡相同。由上述結論及數據可得知車內溫度的變化、隔熱紙的效果好壞與其顏色的深淺明暗沒有絕對的關係，爲了更進一步分析隔熱紙對溫度變化的關係，我們之後更進一步利用穿透光譜說明。

表 5.3　貼不同隔熱紙，照光時間與 0 秒~1200 秒箱內溫度變化表

溫度		隔熱紙品牌							
		A	B	C	D	E	F	G	H
照光時間	0 秒	18.2	17.8	18	17.9	16.5	17.2	17.2	17.6
	1200 秒	45.7	36.2	43.2	29.9	25.8	35.9	41.3	36.9
溫度變化		27.5	18.4	25.2	12	9.3	18.7	24.1	19.3

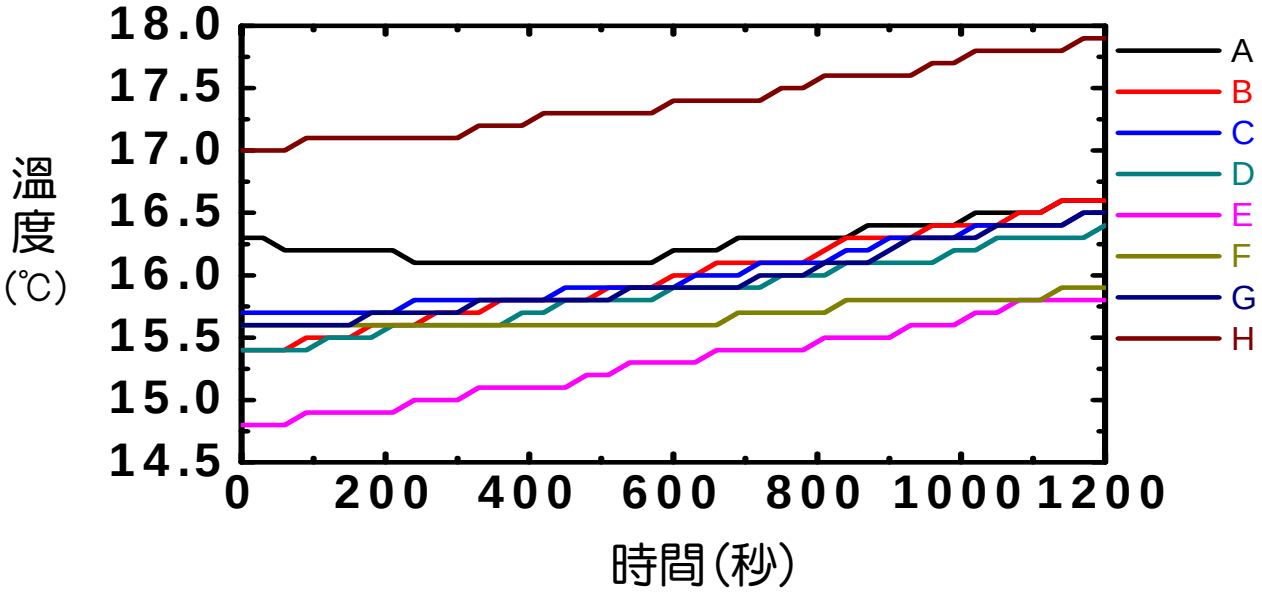

圖 5.7　貼不同隔熱紙，照光時間與環境溫度關係圖

圖 5.8 為貼不同隔熱紙，單位照光時間內的溫度變化關係圖，由此圖可發現，在照光時間累計至 300 秒時，單位時間內的溫度變化逐漸增加，此代表空氣的質量與比熱的乘積逐漸減小，而 300 秒至 600 秒，單位時間內的溫度變化逐漸減少，此代表空氣的質量與比熱的乘積逐漸增加，而 600 秒以後，溫度變化接近固定數值，此代表照光時間 600 秒以後，空氣的質量與比熱的乘積趨近於定值。

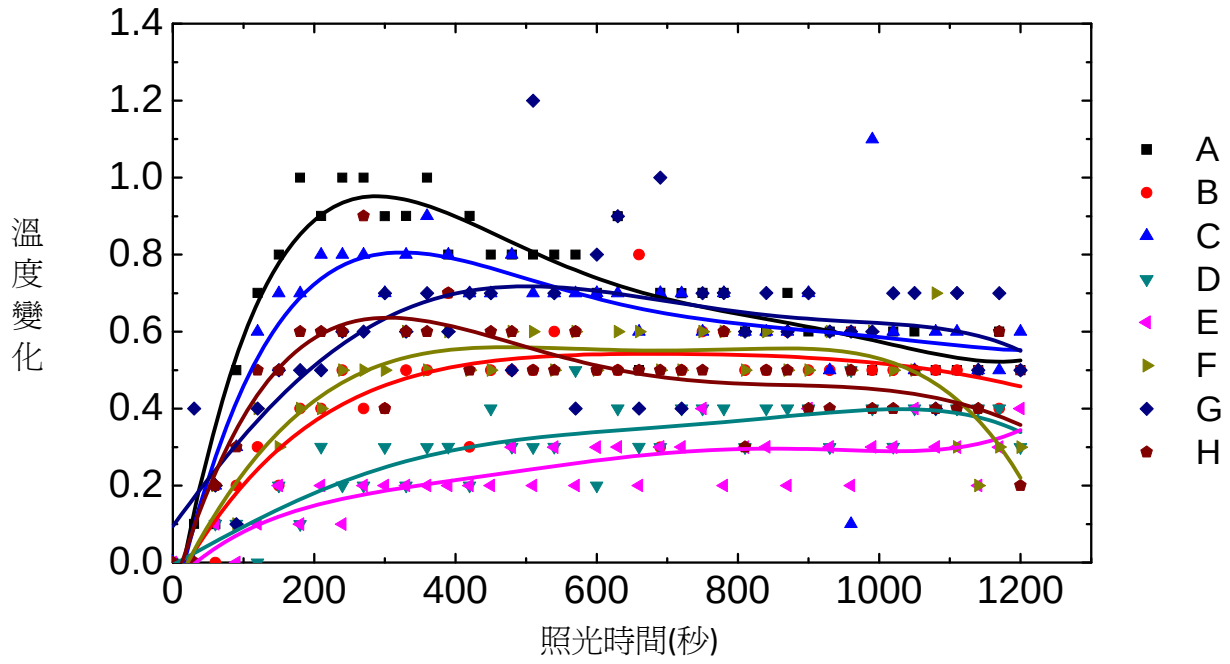

圖 5.8　貼不同隔熱紙，單位照光時間內的溫度變化關係圖。

圖 5.9 ~ 10 爲貼了不同隔熱紙，照光時間與箱內及環境溼度關係圖。由圖 5.9 可知箱內濕度會隨著箱內溫度的上升而減少，此原因乃是因爲箱內溫度上升，水氣蒸發速率增加，使得箱內濕度降低。由溫度變化可知，隔熱效果最差的 A 牌隔熱紙，因爲溫度上升較其他廠牌的隔熱紙大，所以濕度變化的情形也相對較大。隔熱效果最好的 E 牌隔熱紙，因爲溫度上升較其他廠牌的隔熱紙小，所以濕度變化的情形也相對較小。

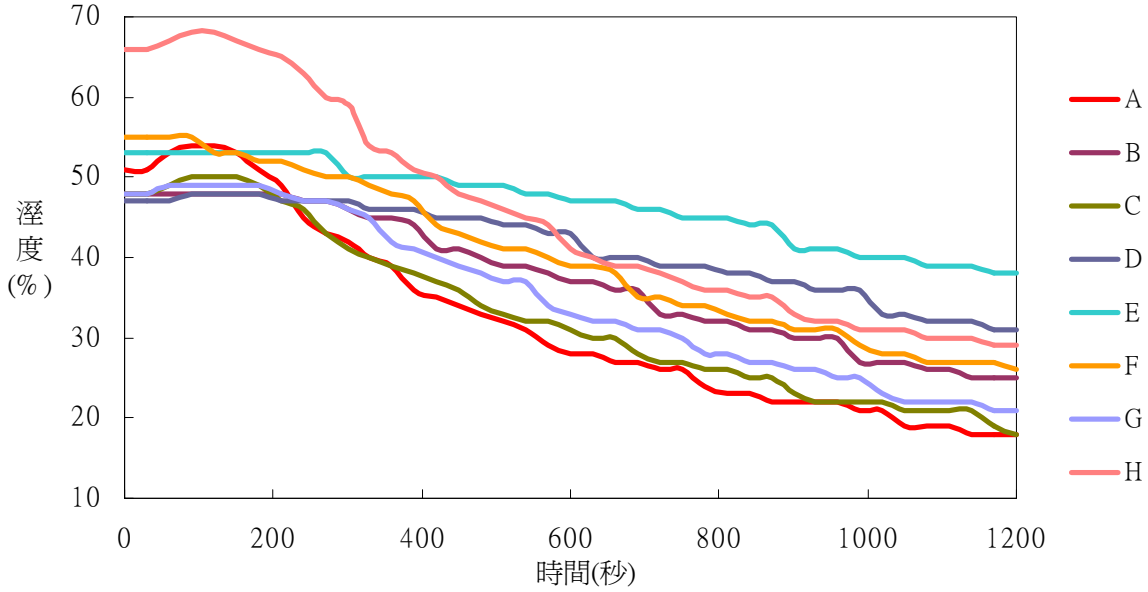

圖 5.9 貼不同隔熱紙，照光時間與箱內溼度關係圖

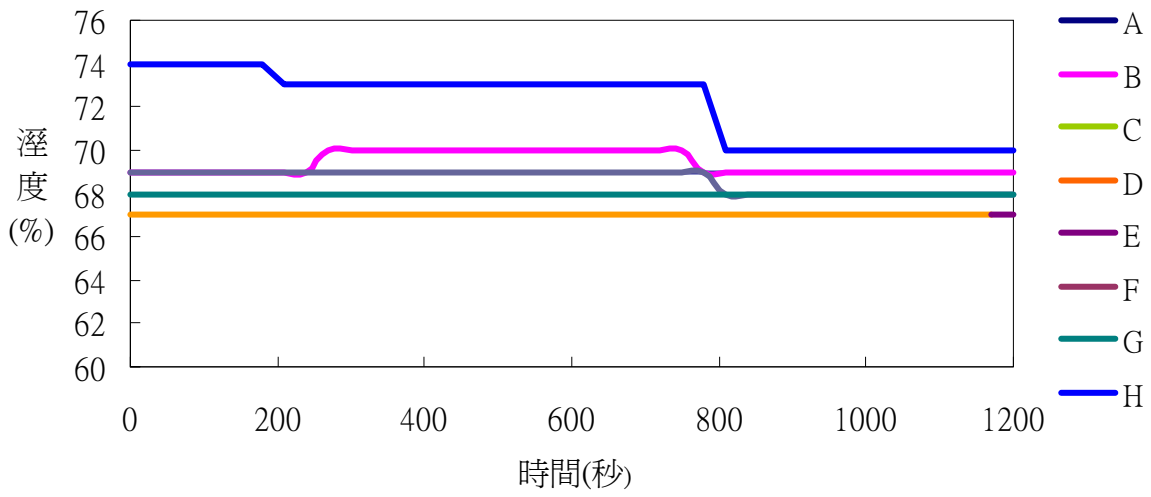

圖 5.10 貼不同隔熱紙，照光時間與環境溼度關係圖

三、用光柵式分光光譜儀（Perkin Elmer Lambda 900）進行隔熱紙之穿透光譜實驗

(一) 本實驗所使用的光柵式分光光譜儀，型號為 Perkin Elmer Lambda 900，光譜儀的基本裝置，主要可分為光源、樣品區、偵測器三個部份，如圖 5.11 所示。

1. 光源：這台光譜儀所產生的電磁波範圍在 190 ~ 2600 nm，它是利用鎢絲燈與氘燈當光源，產生不同波段的光。其中波長範圍在 350 ~ 2600 nm 的可見光和近紅外光輻射是利用鎢絲燈產生此光。而在 170 ~ 375 nm 的紫外光區光譜是利用氘燈為產生此光。
2. 樣品區：所需測量的樣品，可放置在樣品區，進行穿透光譜實驗。
3. 偵測器：在偵測穿透的光其構造包含光導電度偵測器及光電倍增管兩種。前者是偵測可見光與近紅外光區光譜，後者是偵測測紫外光區光譜。

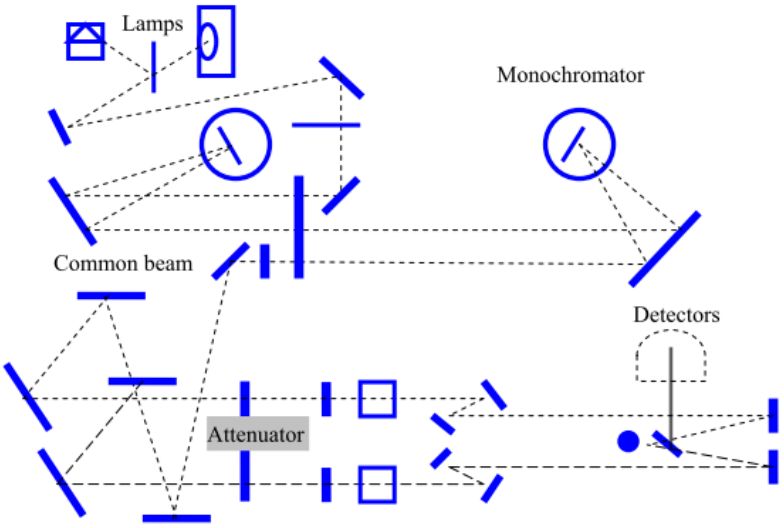

圖 5.11 光柵式分光光譜儀構造圖

(二)穿透光譜實驗量測

圖 5.12 爲 A 牌 ~ H 牌隔熱紙的穿透光譜圖，由太陽光能量的分佈波段對穿透光譜進行分類，可分成主要三部份：第一部份：紫外光波段：190~380 nm。第二部份：可見光波段：380~780 nm。第三部份：紅外光波段：780~2600 nm。

由圖 5.12 我們可發現 A 牌到 H 牌的紫外光波段穿透率皆接近於零，此代表的意義爲當大部分品牌隔熱紙，對於紫外光的阻擋效果不錯，因此，汽車貼上隔熱紙後，對於紫外光的防曬功效顯著，因此，如果是一般室內想要讓紫外光減少長驅直入的機會，貼上隔熱紙也是個不錯的選擇。

由圖 5.13 不同品牌隔熱紙的可見光波段穿透光譜的局部放大圖，由此圖可知在可見光波段 380 ~ 650 nm 內，可見光穿透率大小排序爲：

H 牌 ＞ G 牌 ＞ D 牌 ＞ B 牌 ≒ E 牌 ＞ A 牌 ＞ C 牌 ≒ F 牌

而當可見光波段增至 650 ~ 780 nm 時，可見光穿透率大小排序爲：

C 牌 ＞ H 牌 ＞ G 牌 ＞ F 牌 ＞ B 牌 ＞ A 牌 ＞ D 牌 ＞ E 牌

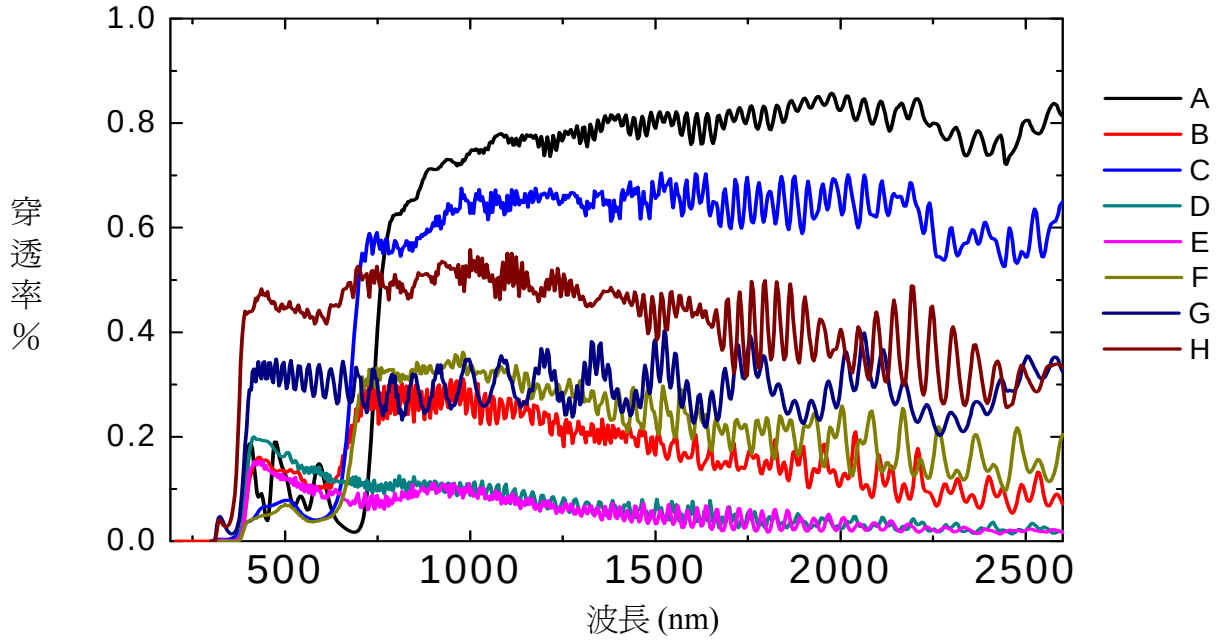

圖 5.12 不同品牌隔熱紙的穿透光譜。

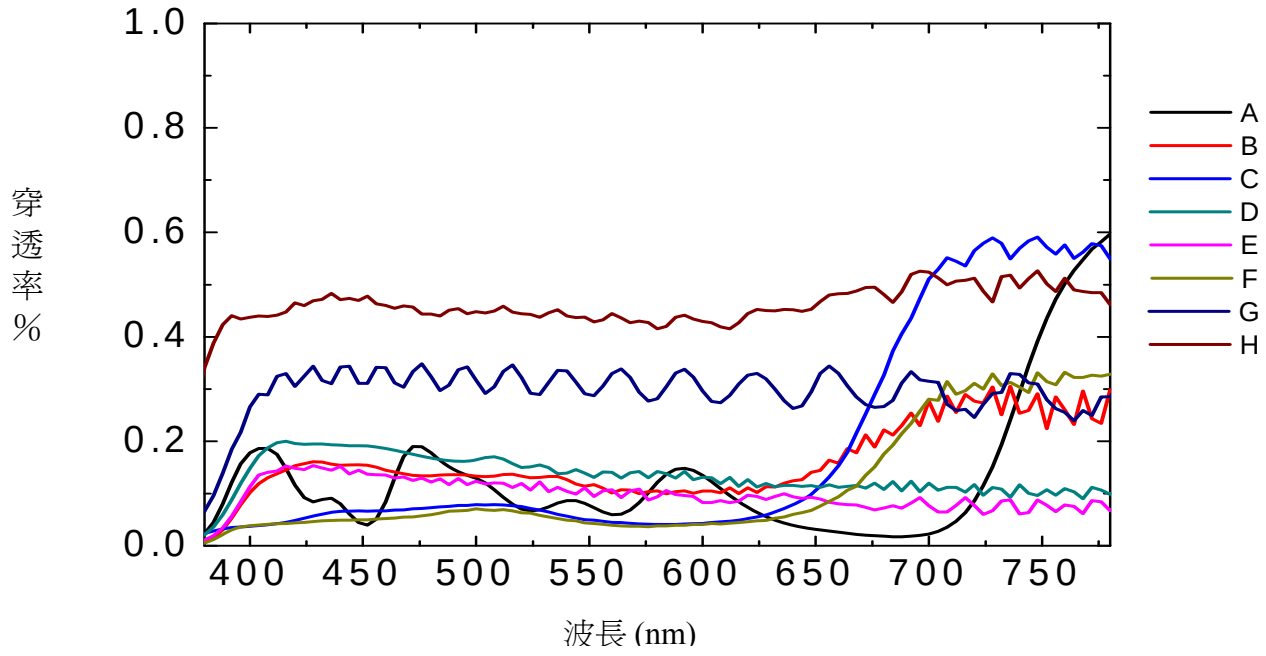

圖 5.13 不同品牌隔熱紙的穿透光譜的局部放大圖(可見光範圍)。

圖 5.14(a) ~ (h) 分別爲貼上隔熱紙的玻璃片透視圖與反射圖。我們在玻璃後面放置的方形物體，觀察玻璃片透視度，在玻璃片前方拍攝的手機可觀察反射情形。由方形物體的可見度我們可發現 H 牌的透視度最好，可清楚看見正方形上的白色小正方形條紋，而 D 牌與 E 牌透視度最差，方形物體幾乎快看不見，而玻璃前的手機可顯現反射的部分，由手機影響，可發現鏡面隔熱紙，對於手機成像較爲清晰，此代表反射光較多，我們已知可見光是電磁頻譜中人類眼睛可以感受的部分。一般眼睛可以感受到的波長範圍約落在 380 nm ~ 780 nm，由於穿透光或反射光的不同，隔熱紙可以看起來是很透明，也可以看起來很黑，也可以看起來是亮的。

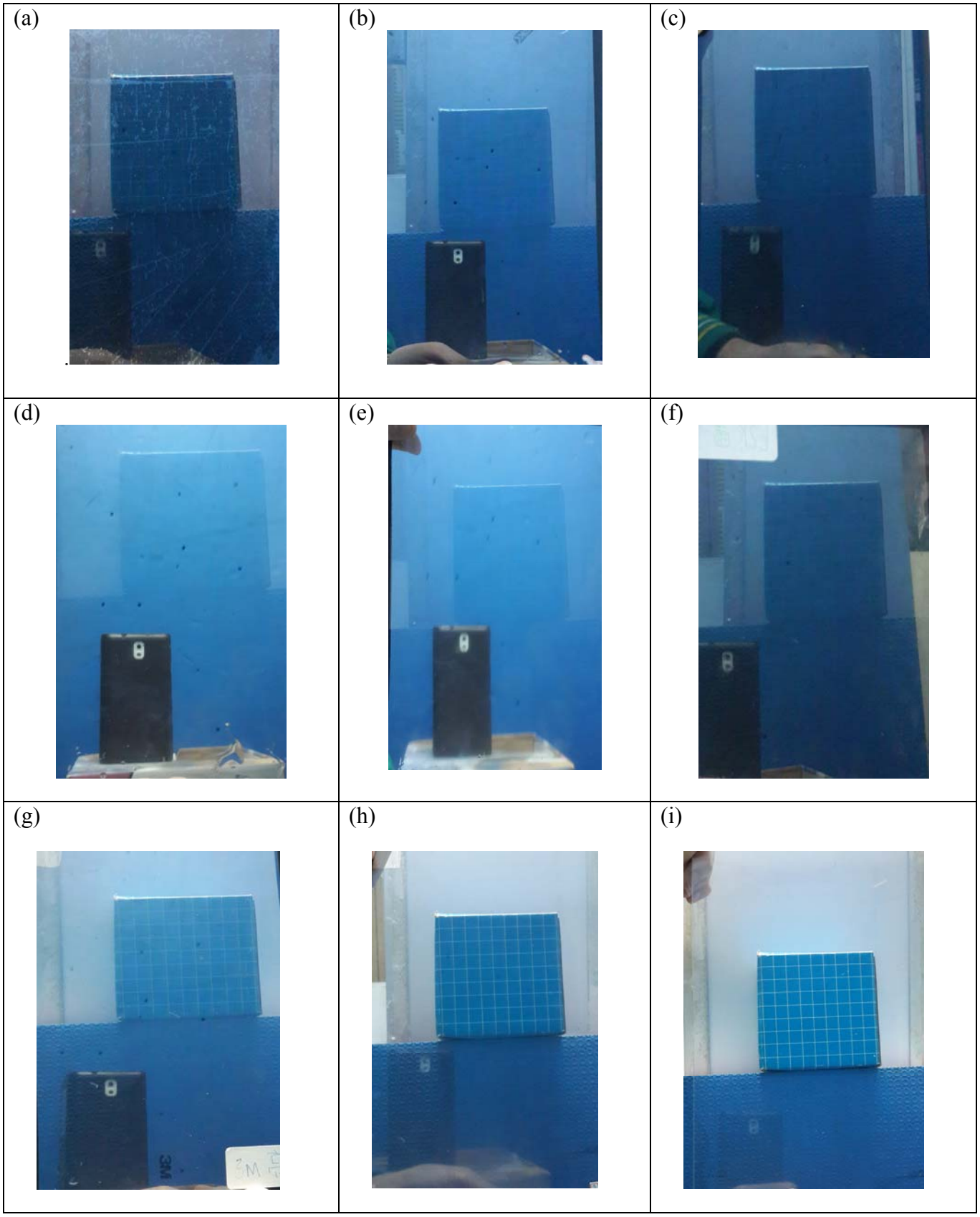

圖 5.14 貼不同隔熱紙透視與反射實驗圖。(a).貼 A 牌。 (b). 貼 B 牌。 (c). 貼 C 牌。 (d). 貼 D 牌。 (e). 貼 E 牌。 (f). 貼 F 牌。 (g). 貼 G 牌。(h) . 貼 H 牌。(i)空白玻璃。

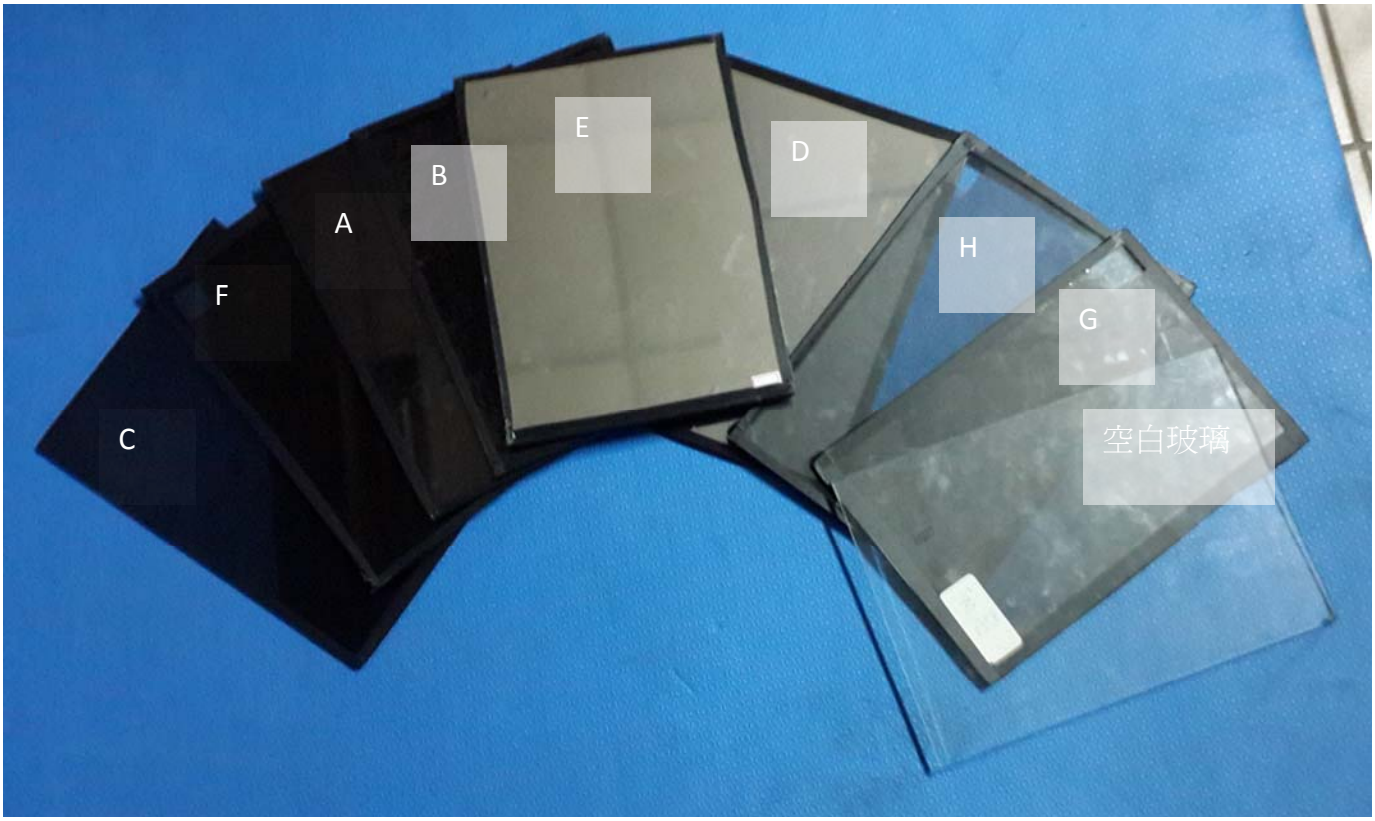

圖 5.15 貼上不同隔熱紙的玻璃片外觀圖

圖 5.15 爲貼上不同隔熱紙的玻璃片外觀圖，由圖可發現貼上 C 牌、F 牌、A 牌與 B 牌看起來較黑，而 E 牌與 D 牌看起來較亮，而 H 牌與 G 牌看起來較淺較透明。

綜合圖 5.13 ~ 15 可發現在可見光範圍波段，可見光波段穿透率最高的是 H 牌隔熱紙，由玻璃片透視圖也可發現此牌隔熱紙透視度是最好的。而可見光波段範圍 380 ~ 650 nm，F 牌與 C 牌的穿透率最低，所以看起來較黑，較不透光，但波長增至 650 nm 後，C 牌穿透率上升至接近 0.6，較 F 牌穿透率 0.4 來得高，此代表紅光較易穿透 C 牌隔熱紙；而 D 牌與 E 牌爲亮面的隔熱紙，此代表有部份可見光被反射，所以我們看到亮面，且在可見光波段範圍內我們可發現其可見光穿透率也僅爲 0.1 ~ 0.2，透光度低。

圖 5.16 爲不同品牌隔熱紙的穿透光譜的紅外光波段局部放大圖。紅外光其波長範圍爲 780 ~ 2600 nm，屬於長波的電磁波，觀察此圖歸納各品牌隔熱紙的紅外光的穿透率大小排序爲：

A 牌 ＞ C 牌 ＞ H 牌 ＞ G 牌 ＞ F 牌 ＞ B 牌 ＞ D 牌 ≒ E 牌

紅外光的穿透率最大的爲 A 牌隔熱紙，穿透率高達 0.8，而穿透率最小的 D 牌與 E 牌隔熱紙，穿透率僅爲 0.2 ~ 0.1 之間，其於隔熱紙的穿透率約介於 0.2 ~ 0.6 之間。

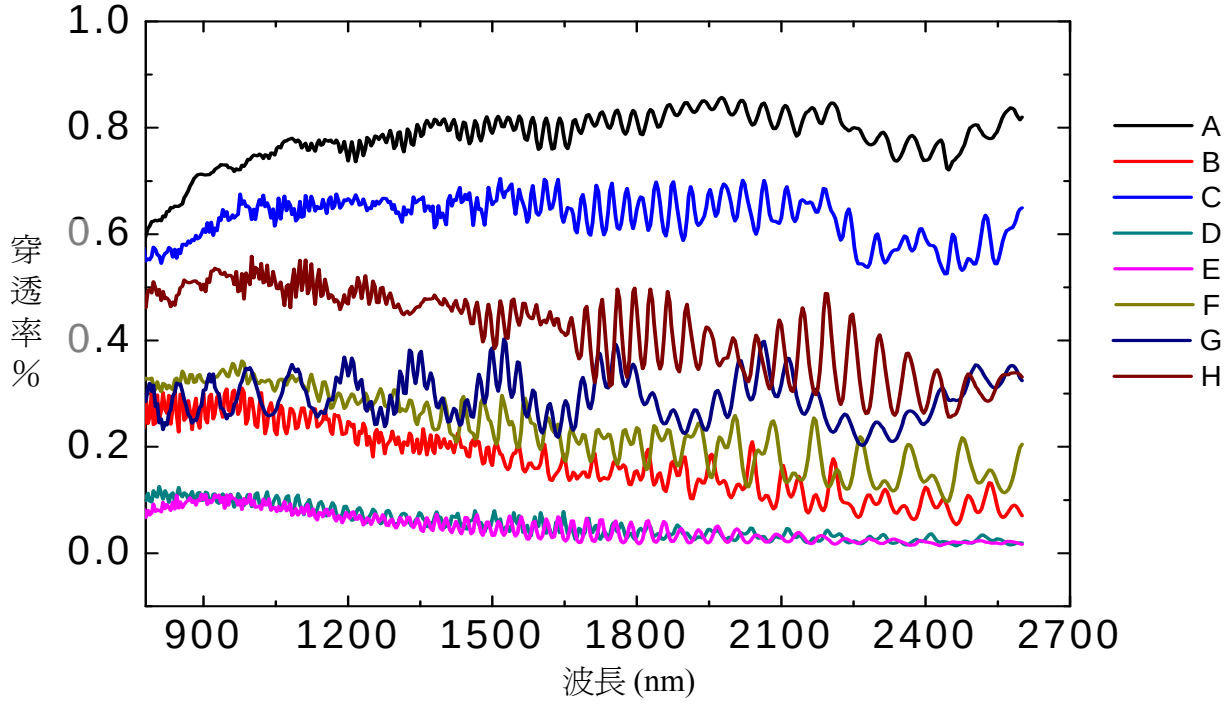

圖 5.16 不同品牌隔熱紙的穿透光譜的紅外光波段局部放大圖。

在八年級光學課程當中，我們理解紅外光爲電磁波的一種，它的波長比紅光波長更長，雖然眼睛無法看到，但是身體皮膚可以感覺到溫熱反應，屬於「熱線」。

比較圖 5.6 貼了 A 牌到 H 牌隔熱紙箱內溫度變化大小與圖 5.15 不同隔熱紙紅外光穿透光譜的穿透率大小比較結果如下表 3 所示：

表 3：不同隔熱紙的箱內溫度變化與紅外光穿透率大小比較表

箱內溫度變化	**A 牌** ＞ C 牌 ＞ G 牌 ＞ H 牌 ＞ F 牌 ≒ B 牌 ＞ D 牌 ＞ E 牌
穿透率大小比較	**A 牌** ＞ C 牌 ＞ **H 牌** ＞ **G 牌** ＞ **F 牌** ＞ **B 牌** ＞ D 牌 ≒ E 牌

由表 3 可以發現，紅外光穿透率最大的是 A 牌隔熱紙，而貼上 A 牌隔熱紙的玻璃片放置在玻璃箱上時，箱內溫度的變化最高，此代表 A 牌隔熱紙的隔熱較差；而紅外光穿透率最小的是 E 牌隔熱紙，若貼上 E 牌隔熱紙的玻璃片放置在玻璃箱上時，箱內溫度的變化會最低，此代表 E 牌隔熱紙的隔熱較好。因此我們可以證實，紅外光通過隔熱紙的穿透率，會影響隔熱紙的隔熱的效果。

由表 3 的結果，我們也發現有趣的現象，比較 G 牌與 H 牌的隔熱紙，雖然紅外光通過 H 牌

的穿透率大於通過 G 牌的穿透率，但是貼了 G 牌隔熱紙的玻璃片其箱內溫度變化反而比貼了 H 牌的小，於是我們進一步運用圖 5.11 比較此兩牌可見光波段的穿透率發現 H 牌的穿透率亦大於通過 G 牌的穿透率，因此我們推斷尚有其他因素影響箱內溫度，因此我們進一步再以圖 5.7 ~ 8 去分析箱內與箱外的溼度發現，H 牌的箱內溼度變化大於 G 牌的箱內濕度，因此，我們推測在此實驗過程中，造成 G 牌溫度變化大於 H 牌的原因主要是濕度。當探照燈照至 H 牌時，雖然可見光與紅外光穿透率皆較大，但是由於箱內濕度與環境溼度皆大，使得部份的熱傳導至水氣使其蒸發，因此 H 牌箱內的溫度並未大於 G 牌。

另外，比較 D 牌與 E 牌隔熱紙，在紅外光波段，兩牌隔熱紙的穿透率接近，而在可見光波段，D 牌穿透率大於 E 牌，箱內與箱外溼度兩牌接近，而箱內溫度變化部份爲 D 牌大於 E 牌，因此我們可以由 D 牌與 E 牌的箱內溫度變化與光譜的關係推知，可見光的穿透率也會使箱內溫度上升。

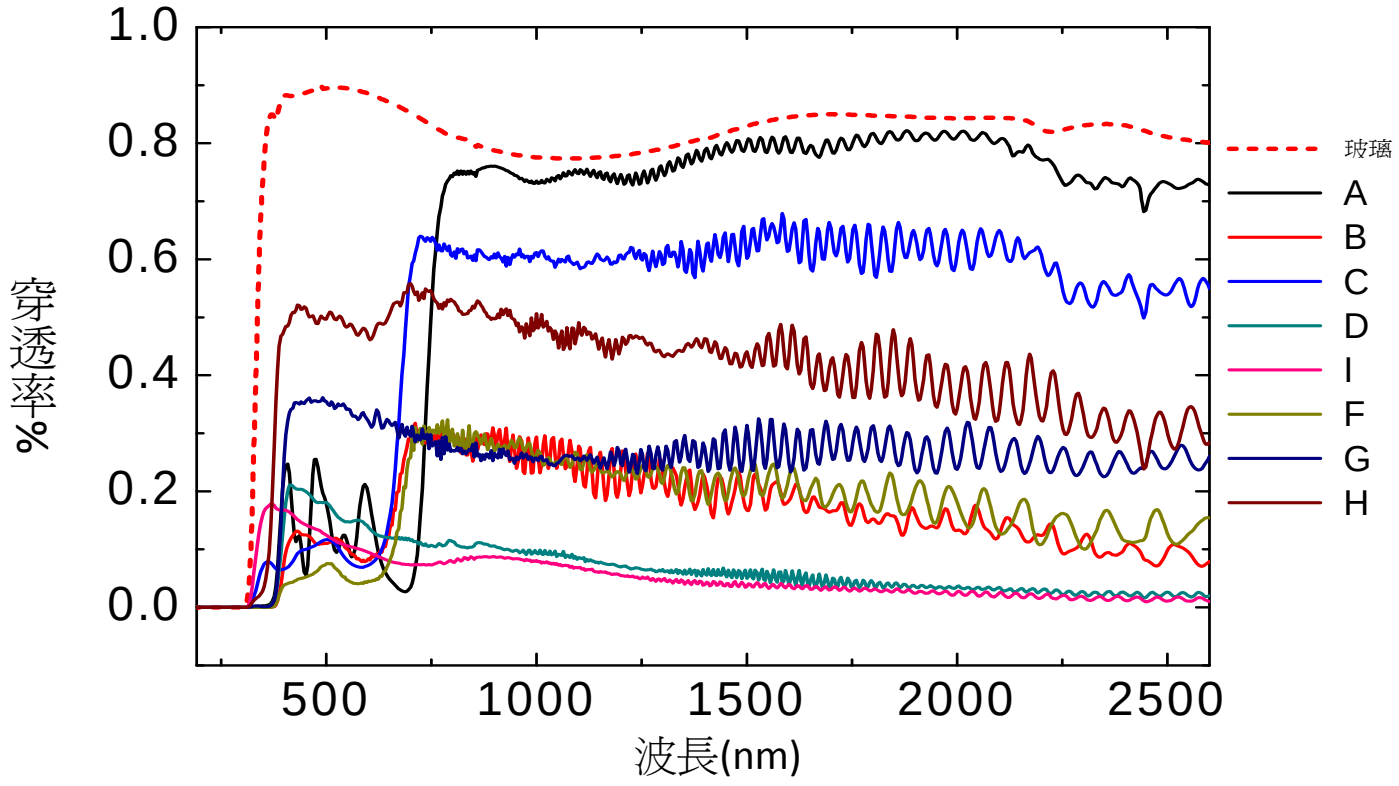

圖5.17 玻璃片上貼上不同品牌隔熱紙其穿透光譜圖。

圖 5.17 玻璃片上貼上不同品牌隔熱紙其穿透光譜圖。表 4：貼不同隔熱紙的箱內溫度變化與貼隔熱紙之玻璃片紅外光穿透率大小比較表，觀察此圖我們可以發現，各廠牌隔熱紙在可見光部份(308~780)有明顯的上升趨勢，上升越多代表著其可見光透光率越高，可見光越容易進入車內，透視率也越高。但是紅外光部分(780~980)結合圖 5.16 我們可以得知紅外光穿透率與熱隔熱紙的隔熱效果好壞有密切關連，A 牌的紅外光穿透率高達 0.8，其個熱效果也最不佳，而相對

的 E 與 D 牌的隔熱紙紅外光的穿透率僅約 0.25，代表它們的隔熱效果極佳。

表4：貼不同隔熱紙的箱內溫度變化與貼隔熱紙之玻璃片紅外光穿透率大小比較表

箱內溫度變化	玻璃 ＞A 牌 ＞ C 牌 ＞ G 牌 ＞ H 牌 ＞ F 牌 ≒ B 牌 ＞ D 牌 ＞ E 牌
穿透率大小比較	玻璃 ＞A 牌 ＞ C 牌 ＞ H 牌 ＞ G 牌 ＞ F 牌 ＞ B 牌 ＞ D 牌 ≒ E 牌

陸、討論

在探究隔熱紙的秘密過程中，我們選擇了探照燈模擬太陽光源，此部份可以確認光源的穩定性，另外因爲需長時間照射，我們在探照燈周圍加了鋁箔紙，避免探照燈外殼過熱，另外爲了減少外界環境對玻璃箱內部的影響，我們利用軟墊以及電熱器讓外界維持相似的環境。

平常一般我們在選購隔熱紙時，對隔熱紙材質首要考量部份包含：第一：材質清晰度： 若貼上隔熱紙清晰度不佳，會造成行車視線不良，影響行車安全。第二：內反光度：貼上隔熱紙時，內反光過高會造成倒影，亦會嚴重影響開車安全。另外隔熱紙的隔熱效果也是考量的的重點之一，隔熱紙與溫度變化的關係分析如下：

〈一〉隔熱紙的深淺與其隔熱效果的關係

在我們還未進行隔熱效果實驗之前，一直都認爲隔熱紙的顏色越黑，其隔熱效果越佳，但經過我們這次的種種實驗之後，其實這個觀念是不完全正確的，依據實驗結果發現，實際上顏色的深淺與隔熱效果並非完全相關，隔熱紙越黑，可見光穿透率就越低，隔熱紙越亮，可見光的穿透率也較低，一般有含金屬材質的隔熱紙，主要爲亮面，隔熱較好但內反光嚴重，選擇隔熱紙時，須看使用的地方去考量是要選擇越黑的或是亮面的或透光率較高的。

〈二〉紅紫外光之穿透率與箱內溫度變化

太陽光中的光波可分爲紫外光、可見光和紅外光三種，其中 99%熱的來源來自紅外光。汽車內主要熱來源是來自紅外光，只要透過技術阻擋掉，就可以降低箱內溫度變化，進而達到隔熱效果。研究隔熱紙之穿透率，也是本次實驗的重點之一，我們利用光柵式分光光譜儀測量其穿透率，紫外光不易穿透隔熱紙，而不同品牌隔熱紙有不同的穿透率，好的隔熱紙對紅外光阻隔效果較佳，因此也能夠避免箱內溫度變化大，隔熱效果佳，選購汽車隔熱紙，對紅外光的阻

隔是重要的考量之一。

〈三〉濕度與箱內溫度變化

我們也發現溼度大時對箱內溫度變化相對小一些，其主要原因爲水的比熱大，因此使得箱內的溫度上升的較慢些。

柒、結論

一、行車安全上的考量，例如：隔熱紙的透光率比隔熱紙是否隔熱來得重要。

二、隔熱紙在紅外光波段穿透率較小時，有較佳的隔熱效率，較高反之。

三、除了隔熱紙對溫度變化有影響外，環境的溼度越大時，溫度變化也會較小。

四、紫外光與可見光對隔熱效果的影響較無紅外光的效果來的顯著。

五、紫外光對隔熱紙的穿透率皆較弱。

捌、參考數據

表 9.1 探照燈光源距離與箱溫變化關係表

次	時間（秒）	溫度（℃）			次	時間（秒）	溫度（℃）		
光源距離（cm）		13.5	15.5	17.5	光源距離（cm）		13.5	15.5	17.5
0	0	15.9	17.1	17.6	21	630	36.8	35.3	34
1	30	16	17.3	17.7	22	660	37.6	35.9	34.6
2	60	16.3	17.6	18.1	23	690	38.3	36.5	35.1
3	90	17.1	18.2	18.8	24	720	39	37.1	35.7
4	120	18.1	19.1	19.3	25	750	39.7	37.6	36.2
5	150	19.3	20.2	20.3	26	780	40.3	38.1	36.7
6	180	20.7	21.3	21.3	27	810	41	38.6	37.1
7	210	22	22.5	22.4	28	840	41.6	39.1	37.6
8	240	23.4	23.7	23.4	29	870	42.1	39.6	38.1
9	270	24.6	24.8	24.4	30	900	42.7	40	38.4
10	300	25.9	25.9	25.4	31	930	43.3	40.4	38.9
11	330	27.1	27	26.4	32	960	43.8	40.8	39.1
12	360	28.3	28.1	27.3	33	990	44.3	41.2	39.9
13	390	29.4	29	28.2	34	1020	44.8	41.6	40.2
14	420	30.4	29.9	29.1	35	1050	45.3	41.9	40.5
15	450	31.5	30.8	29.9	36	1080	45.7	42.3	40.8

16	480	32.4	31.6	30.6	37	1110	46.1	42.6	41.1
17	510	33.4	32.4	31.4	38	1140	46.6	43	41.4
18	540	34.3	33.2	32.1	39	1170	46.9	43.3	41.7
19	570	35.2	33.9	32.8	40	1200	47.3	43.6	42
20	600	36	34.6	33.4					

表 9.2 箱內濕度與各品牌隔熱紙的關係表

	時間（秒）	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0	51	48	48	47	53	55	48	66
2	120	54	48	50	48	53	53	49	68
3	240	45	47	46	47	53	51	47	63
4	360	39	45	39	46	50	48	42	53
5	480	33	40	34	45	49	42	38	47
6	600	28	37	31	43	47	39	33	41
7	720	26	33	27	39	46	35	31	38
8	840	23	31	25	38	44	32	27	35
9	960	22	30	22	36	41	31	25	32
10	1080	19	26	21	32	39	27	22	30
11	1200	18	25	18	31	38	26	21	29

表 9.3 距離與箱內溫度變化關係表

次	時間（秒）	溫度（℃）			次	時間（秒）	溫度（℃）		
光源距離（cm）		13.5	15.5	17.5	光源距離（cm）		13.5	15.5	17.5
0	0	15.9	17.1	17.6	21	630	36.8	35.3	34
1	30	16	17.3	17.7	22	660	37.6	35.9	34.6
2	60	16.3	17.6	18.1	23	690	38.3	36.5	35.1
3	90	17.1	18.2	18.8	24	720	39	37.1	35.7
4	120	18.1	19.1	19.3	25	750	39.7	37.6	36.2
5	150	19.3	20.2	20.3	26	780	40.3	38.1	36.7
6	180	20.7	21.3	21.3	27	810	41	38.6	37.1
7	210	22	22.5	22.4	28	840	41.6	39.1	37.6
8	240	23.4	23.7	23.4	29	870	42.1	39.6	38.1
9	270	24.6	24.8	24.4	30	900	42.7	40	38.4
10	300	25.9	25.9	25.4	31	930	43.3	40.4	38.9
11	330	27.1	27	26.4	32	960	43.8	40.8	39.1
12	360	28.3	28.1	27.3	33	990	44.3	41.2	39.9
13	390	29.4	29	28.2	34	1020	44.8	41.6	40.2
14	420	30.4	29.9	29.1	35	1050	45.3	41.9	40.5

次	時間（秒）	溫度（℃）			次	時間（秒）	溫度（℃）		
光源距離（cm）		13.5	15.5	17.5	光源距離（cm）		13.5	15.5	17.5
15	450	31.5	30.8	29.9	36	1080	45.7	42.3	40.8
16	480	32.4	31.6	30.6	37	1110	46.1	42.6	41.1
17	510	33.4	32.4	31.4	38	1140	46.6	43	41.4
18	540	34.3	33.2	32.1	39	1170	46.9	43.3	41.7
19	570	35.2	33.9	32.8	40	1200	47.3	43.6	42
20	600	36	34.6	33.4					

表 9.4 不同距離與箱內溼度變化關係表

次	時間（秒）	溼度（%）			次	時間（秒）	溼度（%）		
光源距離（cm）		13.5	15.5	17.5	光源距離（cm）		13.5	15.5	17.5
0	0	73	60	66	21	630	39	33	37
1	30	73	61	66	22	660	36	32	37
2	60	75	61	68	23	690	35	31	36
3	90	77	63	69	24	720	34	31	35
4	120	77	64	70	25	750	33	28	35
5	150	77	64	70	26	780	33	28	34
6	180	76	62	69	27	810	32	27	33
7	210	74	61	68	28	840	31	27	30
8	240	70	56	64	29	870	30	27	30
9	270	68	53	61	30	900	28	26	29
10	300	64	51	58	31	930	27	26	29
11	330	62	49	56	32	960	27	25	29
12	360	56	45	54	33	990	26	25	28
13	390	54	43	50	34	1020	26	25	28
14	420	52	42	48	35	1050	25	25	27
15	450	50	40	47	36	1080	25	24	26
16	480	48	39	45	37	1110	25	23	26
17	510	45	38	44	38	1140	24	22	26
18	540	43	35	42	39	1170	24	22	25
19	570	41	35	40	40	1200	24	22	25
20	600	40	34	39					

玖、參考文獻

一、蘇卡奇（2006）。**觀念化學**—天下。

二、陳爲友（2004）。**物理大發現**—專業文化。

三、何志堅（1998）。**光的故事**─台灣書店。

四、波寇维兹（2002）。**光的故事**─城邦文化。

五、第五十屆中小學科學展覽─生活與應用 080808
http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/080808.pdf

六、第五十屆中小學科學展覽─生活與應用 030822
http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/030822

七、維基百科，自由的百科全書─紅外光譜學
http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BA%A2%E5%A4%96%E5%85%89%E8%B0%B1

八、材料世界網：綠色節能及隔熱建材技術專題。工業材料雜誌 320 期
2013 年 8 月 5 日，取自 https://www.materialsnet.com.tw/MagCatalog.aspx?id=240

【評語】030818

此作品利用紅外線的偵測來檢測不同隔熱紙的隔熱效果，並嘗試用濕度及反射光強度去解釋不同隔熱紙的隔熱性差異，主題具實用性，研究方法適切，唯分析數據方面有待加強。