

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 物理科

第三名

080103

小簾立大功【窗簾的吸音與隔音效果之研究】

學校名稱：金門縣金湖鎮金湖國民小學

作者：	指導老師：
小六 黃柏勛	李永欽
小六 王竣陞	謝家耀
小五 顏宇謙	
小五 歐陽雪妍	
小五 袁登俊	
小五 呂婕瑜	

關鍵詞：窗簾、吸音、隔音

## 摘要

聽說窗簾可能有吸音及隔音效果，但真的嗎？

研究顯示：(1)窗簾材料：吸+隔音效果為棉質>麻質>塑膠質>厚棉>紗質>海報紙>雙面質 (2)窗簾厚度與吸音呈正相關與隔音呈負相關 (3)窗簾孔隙面積與吸、隔音都呈負相關 (4)牆面的窗簾數與吸、隔音都呈正相關 (5)對稱 H 型擺設雙牆窗簾吸、隔音都比連續 L 型好 (6)窗簾波折高度與吸、隔音都呈正相關，波折高度 $\geq 10\text{cm}$  吸音效果好 (7)窗簾波折間距 6~7cm 吸+隔音效果好 (8)窗簾到牆距離與吸音呈正相關與隔音呈負相關；到牆距離 3cm 處有最佳吸音效果 (9)多層窗簾有吸、隔音效果，以 2 層為最佳 (10)窗簾含水量與吸、隔音量折減率呈正相關，棉質窗簾含水量 168% 為最佳吸音含水量。

窗簾改善噪音是有效，理想吸音可減 42 dBA 及隔音可減 139 dBA。

## 壹、研究動機

有一天我去上廁所的時候，忽然聽到一個很熟悉的聲音，沒錯！就是我們老師的上課聲音！我們的教室離廁所很遠！但居然聽得到老師的麥克風聲音！老師說的每一個字我都聽得一清二楚。但是這樣的話！會吵到別的班級上課！況且我們學校位置在飛機航道下方，每天飛機飛過的聲音也很大聲，所以每天我們經歷了老師上課聲、飛機聲、別班上課打球聲，真得很受不了，剛好我們的自然老師有講到聲音！聽說窗簾好像可以降低音量！但真的嗎？可是我有更多的疑問，窗簾真的會吸音及遮音效果嗎？那一種材質最好呢？是不是每個牆面裝上窗簾，吸音及隔音效果會最好？窗簾的折痕高度有影響嗎？窗簾的折痕間距有影響嗎？窗簾與牆的距離有影響嗎？多層一點有效嗎？上面灑水有效嗎？為了解心中的疑問，於是與幾位同學在老師的指導下，作了以下有趣的研究。

## 貳、研究目的

探究窗簾在不同的形式及操作下，對音量消滅(吸音)及隔絕(隔音)的影響，這些影響，可以提供學校改進一般、音樂及視聽教室的吸音、隔音效果，讓我們可以在不受干擾的環境下，快樂的學習，同時也可以讓社區的居民得到較安靜的生活空間。

所以有了以下研究目的：

- 一、研究窗簾材質與吸音、隔音的關係。
- 二、研究窗簾材質的厚度與吸音、隔音的關係。
- 三、研究窗簾材質的孔隙面積與吸音、隔音的關係。
- 四、研究四牆面的窗簾數目與吸音、隔音的關係。
- 五、研究連續 L 式的雙牆面窗簾及對稱 H 式的雙牆面窗簾與吸音、隔音的關係。

係。

六、研究窗簾的波折高度與吸音、隔音的關係。

七、研究窗簾的波折與波折的間距與吸音、隔音的關係。

八、研究窗簾到牆距離與吸音、隔音的關係。

九、研究窗簾分層重疊數目與吸音、隔音的關係。

十、研究窗簾的含水量與吸音、隔音的關係。

## 參、文獻探討

### 一、聲音的產生：

聲音的產生與物體的振動有關，振動而產生壓力波動。此壓力波動必須依靠水、空氣，或其他介質向外傳播，而讓人耳偵測到的機械能。聲波傳播的介質振動方向和波前進方向平行的波，稱為縱波。

### 二、聲波的反射：

當聲音傳播遇障礙物而反射回來的現象，稱為反射現象。聲音所接觸障礙物的介面稱為反射面，垂直於反射面的直線稱為法線，入射線和法線之間的夾角稱為入射角，反射線和法線之間的夾角稱為反射角。入射角與反射角是相同的，因此某一方向來的音波，經過平滑的表面之反射也是定向的。

### 三、聲音三要素---讓聲音多變的因素：

#### (一)音量：

聲音的大小稱為音量或響度，與振動的幅度有關。為了比較不同聲音的強弱程度，科學上採用分貝（dB）為聲音強度的單位。一般人耳可聽見聲音頻率範圍為 20-20000Hz，所以分貝值常採用 A 加權（A-weighting）的使用，因為它對主觀的人體試驗可以產生最好的關聯性。使用 A 加權作報告的測量，經常以 dBA 或 dB(A) 來表示，它也是最普遍的測量方式。

#### (二)音高：

聲音的高低稱為音高或音調，與發音體振動的快慢有關，即與物體振動的頻率高低有關。發音體每秒鐘振動的次數愈多，振動頻率愈大，所發出聲音的音調愈高。

#### (三)音色：

不同樂器所發出的聲音（音品），即使響度、音調一樣，我們仍然可以分辨出是何種樂器發出的聲音，這是由於每一種樂器都有它獨特的發音波形，稱為音色。樂器所發出的聲音都是由好幾種頻率的聲音組成，因此不同的樂器所組成的聲音波形也不一樣。

### 四、噪音：

「噪音」通常是刺耳一類或在某種條件下不必要，而且會擾亂心神的聲音。一般可分為經常性噪音與突發性噪音兩種，經常性噪音如：學校活動噪音、家庭噪音、營建噪音、工業噪音及交通運輸噪音等，而突發性噪音則是短暫時間的噪音，如：鞭炮爆炸聲等。

## 五、噪音對人體的影響

根據專家說法，噪音不但會引發高血壓、胃潰瘍等疾病，還可能導致各種無精打采、情緒不安和精神緊張等心理問題，若更嚴重，還可能使人精神錯亂，無法自製而產生犯罪。

以下是聲音大小對人體的影響說明：

- (1) 20 分貝以下：最適合睡眠者所需環境。
- (2) 20~40 分貝：干擾睡眠，例如：輕聲說話、窗外狗吠。
- (3) 40~60 分貝：影響學習，例如：普通室內談話、舊型冷氣機約 50 分貝。
- (4) 60~70 分貝：干擾交談，有損神經，例如：大聲喊叫、汽車防盜器。
- (5) 70~90 分貝：工作效率降低，長期曝露下會使聽力持續受損，例如：電子花車約 90 分貝。
- (6) 90~120 分貝：使人難以忍受，幾分鐘就可暫時致聾，聽力受損，例如：爆竹聲約 100 分貝、飛機起飛約 120 分貝。
- (7) 160 分貝：讓人耳聾，喪失聽覺音。

## 六、揮別噪音

(一)、材料的吸音：

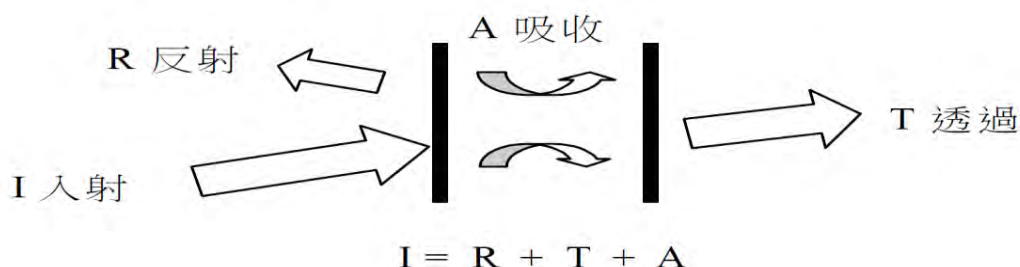
是一種聲音的能量消耗的現象，是指音波在材料中的振動與磨擦，而消耗掉某些頻率音波能量的方式。吸音與反射音的大小有關。

(二)、材料的隔音：

是一種聲音的能量隔絕的現象，是指音波被阻絕的現象，而消耗掉某些頻率音波能量的方式。隔音與透過音的大小有關。

## 七、聲音遇到障礙物的傳播行為模式

音源入射(I)後，因物理材料及空間因素，會吸收(A)相當部份的聲波，



最後一部分會被反射(R)，一部分會被透過(T)，其中被反射(R)會反應出吸音效果，被透過(T)會反應出隔音效果。

## 肆、研究設備及器材

### 一、研究設備：

表 4.1 研究設備

編號	設備名稱	數量	單位	備註
1	數位式噪音計(分貝計)(Lutron Electronic Enterprise Co.,Ltd , SL-4023SD , 精度 0.1dB)	1	台	圖 4.1

2	特製鬧鐘電鈴(並聯 10 顆 1.5V 三號乾電池外加開關)	1	台	圖 4.1
3	精密秤(精度 0.01g)	1	台	圖 4.1
4	游標尺(Mitutoyo ; 精密度 0.02mm)	1	支	圖 4.1
5	顯微鏡	1	台	圖 4.1
6	美工刀	1	支	圖 4.1
7	剪刀	1	支	圖 4.1
8	燕尾夾	1	組	圖 4.1
9	鉗子	1	支	圖 4.1
10	訂書機	1	支	圖 4.1
11	烙鐵	1	組	圖 4.1
12	圓規組	1	組	圖 4.1
13	固定螺絲	1	盒	圖 4.1
14	數位照相機	1	台	



圖 4.1 研究設備

## 二、研究材料：

表 4.2 研究材料

編號	材料名稱	數量	單位	備註
1	海報紙	1	卷	圖 4.2
2	塑膠紙	1	卷	圖 4.3
3	紗質窗簾布	1	卷	圖 4.4
4	麻質窗簾布	1	卷	圖 4.5
5	棉質窗簾布	1	卷	圖 4.6
6	雙面料質窗簾布	1	卷	圖 4.7
7	厚棉質窗簾布	1	卷	圖 4.8
8	報紙(聯合報)	30	張	圖 4.9



圖 4.2 海報紙



圖 4.3 塑膠紙



圖 4.4 紗質窗簾布



圖 4.5 麻質窗簾布



圖 4.6 棉質窗簾布



圖 4.7 雙面料質窗簾布



圖 4.8 厚棉質窗簾布



圖 4.9 報紙(聯合報)

## 伍、研究過程與方法

### 一、設計研究測試箱：

#### (一)設計：

##### (1) 立體測試箱

為了模擬實際室內間的情況，我們與老師共同設計了一個長、寬、高，各 50cm 的塑膠瓦楞製空箱，它包含了四面牆板、天花板及底板，其中天花板與牆面-底板，是可以活動組合的，以方便試驗的進行。在其中一牆面板挖除四個直徑 10cm 的圓孔，來模擬開窗時窗簾的隔音效果。實際的設計圖，如圖 5.1、圖 5.2、圖 5.3 所示。

##### (2) 傳聲筒測試平台

為了研究窗簾的含水量與吸音、隔音的關係，其中含水量的控制不容易，所以將窗簾縮小，自製傳聲筒測試平台來測試窗簾的含水量與吸

音、隔音的關係。實際設置完成圖，如圖 5.8 所示。

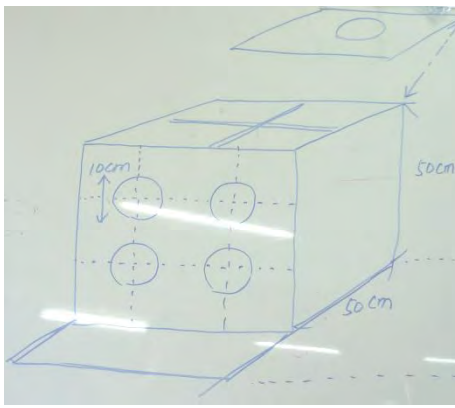


圖 5.1 測試牆的設計圖

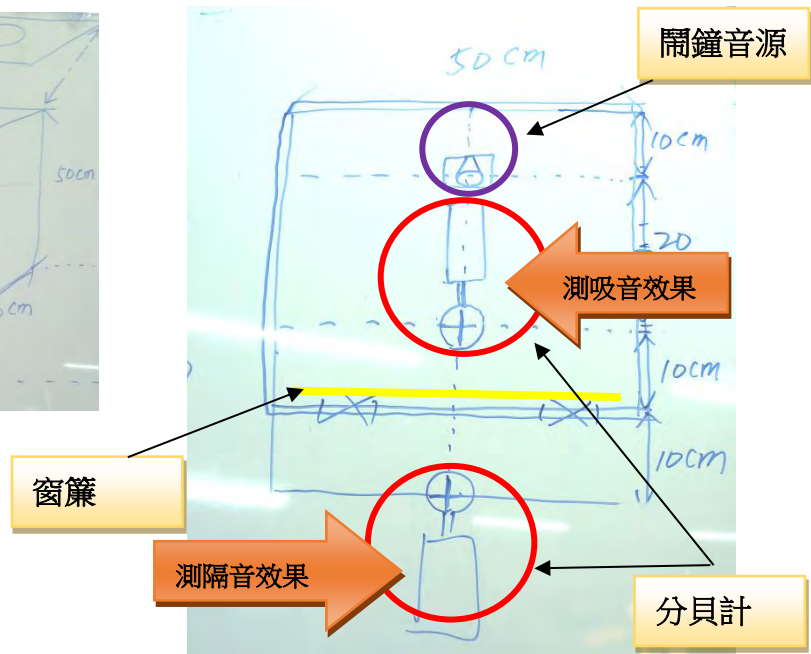


圖 5.2 測試底板擺設的設計圖

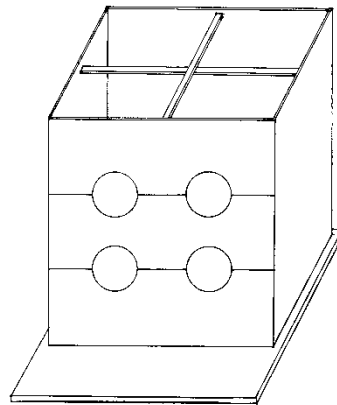


圖 5.3 預定完成的立體測試箱設計圖



圖 5.4 地板裁切情況

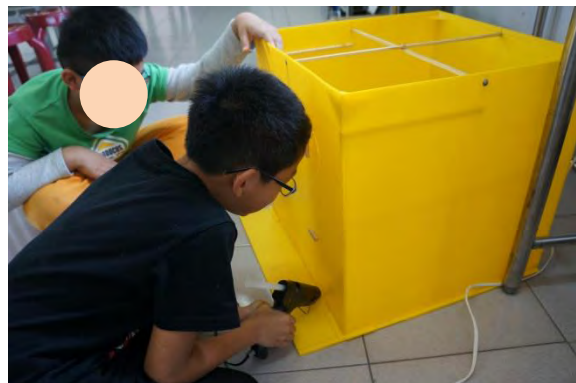


圖 5.5 牆面板粘貼情況

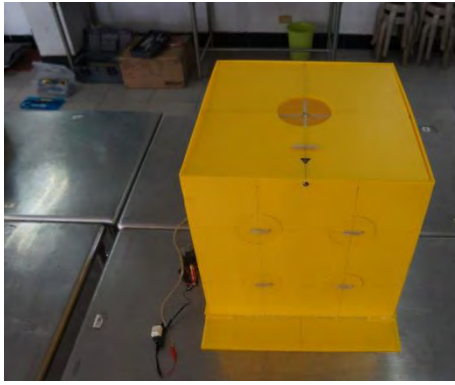


圖 5.6 立體測試箱牆面板設置完成

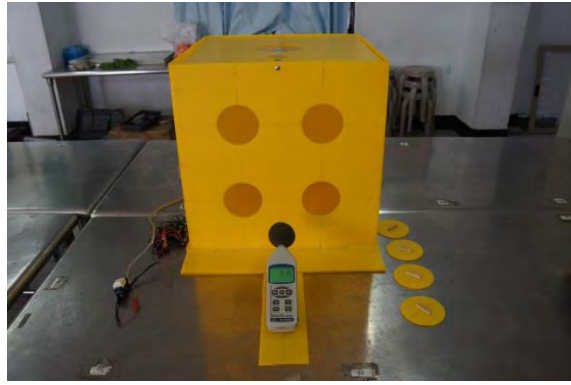


圖 5.7 立體測試箱主箱牆面設置完成

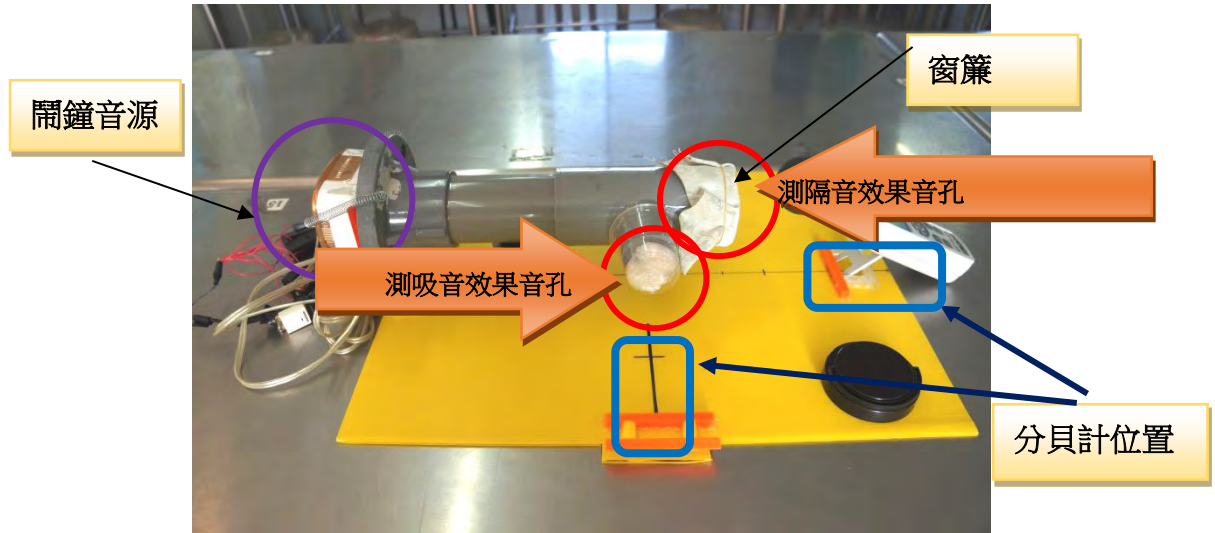


圖 5.8 設置完成 DIY 傳聲筒測試平台

## 二、 正式試驗：

### 【音源分析】

- (1) 利用平板 APP 軟體(PHYPHOX)，來觀測鬧鐘音源的聲譜及音高的範圍，來確定音高是人類可以聽到的範圍(20-20000HZ)，並記錄。

### 【實驗一】研究不同窗簾材質與吸音、隔音的關係。(A 試驗)

**操作變因**：不同窗簾材質(海報紙、塑膠紙、紗質窗簾布、麻質窗簾布、棉質窗簾布、雙面質窗簾布、厚棉質窗簾布、報紙)。

**控制變因**：窗簾布放置位置、立體測試箱、聲音來源、聲音大小、分貝計位置。

- (1) 利用自製立體測試箱來測量吸音、隔音。
- (2) 將七種待測的窗簾，裁剪適當大小(約 45\*45cm)，利用固定器將布簾固定於測牆上。
- (3) 吸音測試：在距離測試內牆 10cm 處放置特製電鈴，距內牆 6cm 處安置噪音計(分貝計)，並蓋好頂蓋，通電後電鈴發出聲響，以分貝計測量音量，每項計取五次，並記錄求其平均值。
- (4) 隔音測試：將測牆上的四孔洞打開，距外牆 6cm 處安置噪音計(分貝計)，並蓋好頂蓋，通電後電鈴發出聲響，以分貝計測量音量，每項計取五次，並記錄求其平均值。
- (5) 比較不同窗簾材料，與吸音、隔音之間的關係。



【實驗二】研究窗簾材質的厚度與吸音、隔音的關係。(B 試驗)：

**操作變因**：不同窗簾厚度(0.1、0.2、0.4、0.5、0.7、1.0mm)。

**控制變因**：窗簾布放置位置、立體測試箱、聲音來源、聲音大小、分貝計位置。

- (1) 將各材質窗簾剪取一小塊(2\*5cm)的試驗樣本。
- (2) 利用游標尺量測厚度，單位為 mm，並記錄。
- (3) 比較厚度與窗簾吸音、隔音之間的關係。

【實驗三】研究窗簾材質的孔隙面積與吸音、隔音的關係。(C 試驗)：

**操作變因**：相同厚度 0.4mm 窗簾，不同孔隙面積大小(0.09、0.024mm<sup>2</sup>)。

**控制變因**：窗簾布放置位置、立體測試箱、聲音來源、聲音大小、分貝計位置。

- (1) 將各材質窗簾剪取一小塊(2\*5cm)的試驗樣本。
- (2) 利用光學顯微鏡觀察各窗簾材質的孔隙大小，並記錄接目鏡、接物鏡的放大倍率。
- (3) 利用數位相機，將觀察結果，以等倍率拍照及記錄下來。
- (4) 將拍照及記錄下來的照片，在電腦上判讀窗簾材質孔隙的長與寬。
- (5) 利用放大倍率，反算實際窗簾材質孔隙大小。
- (6) 比較厚度相近的窗簾材料，它的孔隙面積與窗簾吸音、隔音之間的關係。

【實驗四】研究四牆面的窗簾數目與吸音、隔音的關係。(D 試驗)：

**操作變因**：四面牆面窗簾數目(1、2、3、4 面)。

**控制變因**：棉質窗簾布、立體測試箱、聲音來源、聲音大小、分貝計位置。

- (1) 利用自製**立體測試箱**來測量吸音、隔音。
- (2) 裁剪適當大小的棉質窗簾(約 45\*45cm)，利用固定器將布簾固定於測上，並蓋上頂蓋。
- (3) 以順時針方式，增加牆面窗簾面數，第一面牆、第一二面牆、第一二三面牆、第一二三四面牆，依此類推重複測試吸音、隔音效果。
- (4) 吸音測試：打開電鈴電源，在箱內量測分貝值，並記錄。
- (5) 隔音測試：打開測牆上四個孔洞，開啟電鈴電源，在箱外量測分貝值，並記錄。
- (6) 比較牆面窗簾數目，與窗簾吸音、隔音之間的關係。

【實驗五】研究連續 L 式的雙牆面窗簾及對稱 H 式的雙牆面窗簾與吸音、隔音的關係。(E 試驗)

**操作變因**：L 式的雙牆面窗簾、對稱 H 式的雙牆面窗簾擺設。

**控制變因**：棉質窗簾布、立體測試箱、聲音來源、聲音大小、分貝計位置。

- (1) 利用自製**立體測試箱**來測量吸音、隔音。
- (2) 改變第一二面牆(連續 L 式)窗簾的排法，採用第一三面牆(對稱 H 式)窗簾的排法。
- (3) 吸音測試：打開電鈴電源，在箱內量測分貝值，並記錄。
- (4) 隔音測試：打開測牆上四個孔洞，開啟電鈴電源，在箱外量測分貝值，並記錄。
- (5) 比較連續 L 式與對稱 H 式窗簾排法，那一個的吸音及隔音效果比較較好。

【實驗六】研究窗簾的波折高度與吸音、隔音的關係。(F 試驗)

**操作變因**：窗簾的波折高度(2、4、6、8、10、12、16cm)。

**控制變因**：棉質窗簾布、窗簾布放置位置、立體測試箱、聲音來源、聲音大小、分貝計位置。

- (1) 利用自製**立體測試箱**來測量吸音、隔音。
- (2) 固定窗簾折痕間距為 4cm，增加窗簾的折痕高度(2、4、6、8、10、12、16cm)。
- (3) 吸音測試：打開電鈴電源，在箱內量測分貝值，並記錄。
- (4) 隔音測試：打開測牆上四個孔洞，開啟電鈴電源，在箱外量測分貝值，並記錄。
- (5) 比較窗簾的折痕高度，與窗簾吸音、隔音之間的關係。

**【實驗七】** 研究窗簾的波折與波折的間距與吸音、隔音的關係。(G 試驗)

**操作變因**：窗簾的折痕距離(1、2、3、4、5、6、8、10、12、16cm)。

**控制變因**：棉質窗簾布、窗簾布放置位置、立體測試箱、聲音來源、聲音大小、分貝計位置。

- (1) 利用自製**立體測試箱**來測量吸音、隔音。
- (2) 根據**【實驗六】**窗簾折痕高度因素(F 試驗)的結果，定窗簾折痕高度為 10cm。
- (3) 將棉質窗簾裁剪適當大小，並仿製高 10cm 的窗簾折痕二片。
- (4) 改變二片折痕距離(1、2、3、4、5、6、8、10、12、16cm)。
- (5) 吸音測試：打開電鈴電源，在箱內量測分貝值，並記錄。
- (6) 隔音測試：打開測牆上四個孔洞，開啟電鈴電源，在箱外量測分貝值，並記錄。
- (7) 比較窗簾的折痕間距，與窗簾吸音、隔音之間的關係。

**【實驗八】** 研究窗簾到牆距離與吸音、隔音的關係。(H 試驗)

**操作變因**：窗簾到牆距離(1、2、3、4、5、6、10cm)。

**控制變因**：棉質窗簾布、立體測試箱、聲音來源、聲音大小、分貝計位置。

- (1) 利用自製**立體測試箱**來測量吸音、隔音。
- (2) 改變棉質窗簾到牆面的距離(1、2、3、4、5、6、10cm)。
- (3) 吸音測試：打開電鈴電源，在箱內量測分貝值，並記錄。
- (4) 隔音測試：打開測牆上四個孔洞，開啟電鈴電源，在箱外量測分貝值，並記錄。
- (5) 比較窗簾與牆的距離，及窗簾吸音、遮音之間的關係。

**【實驗九】** 研究窗簾分層重疊數目與吸音、隔音的關係。(I 試驗)

**操作變因**：窗簾分層重疊(1、2、4、8 層)。

**控制變因**：報紙窗簾布、立體測試箱、聲音來源、聲音大小、分貝計位置。

- (1) 利用自製**立體測試箱**來測量吸音、隔音。
- (2) 分別將報紙窗簾分層重疊(1、2、4、8 層)，並測量吸音、隔音。
- (3) 吸音測試：打開電鈴電源，在箱內量測分貝值，並記錄。
- (4) 隔音測試：打開測牆上四個孔洞，開啟電鈴電源，在箱外量測分貝值，並記錄。
- (5) 比較窗簾與牆的距離，及窗簾吸音、隔音之間的關係。

**【實驗十】** 研究窗簾的含水量與吸音、隔音的關係。(J 試驗)

**操作變因**：棉質、報紙窗簾，灑上不同的水量(低 0%、低 25%、中 50%、中 100%、高 150%、高 200%含水量)。

**控制變因**：棉質、報紙窗簾布、傳聲筒測試平台、聲音來源、聲音大小、分貝

計位置。

- (1) 利用自製傳聲筒測試平台來測量吸音、隔音。
- (2) 利用水霧化器將棉質窗簾、報紙窗簾，灑上不同的水量(低 0%、低 25%、中 50%、中 100%、高 150%、高 200%含水量)。
- (3) 吸音測試：打開電鈴電源，在箱內量測分貝值，並記錄。
- (4) 隔音測試：打開測牆上四個孔洞，開啟電鈴電源，在箱外量測分貝值，並記錄。
- (5) 比較窗簾與牆的距離，及窗簾吸音、隔音之間的關係。

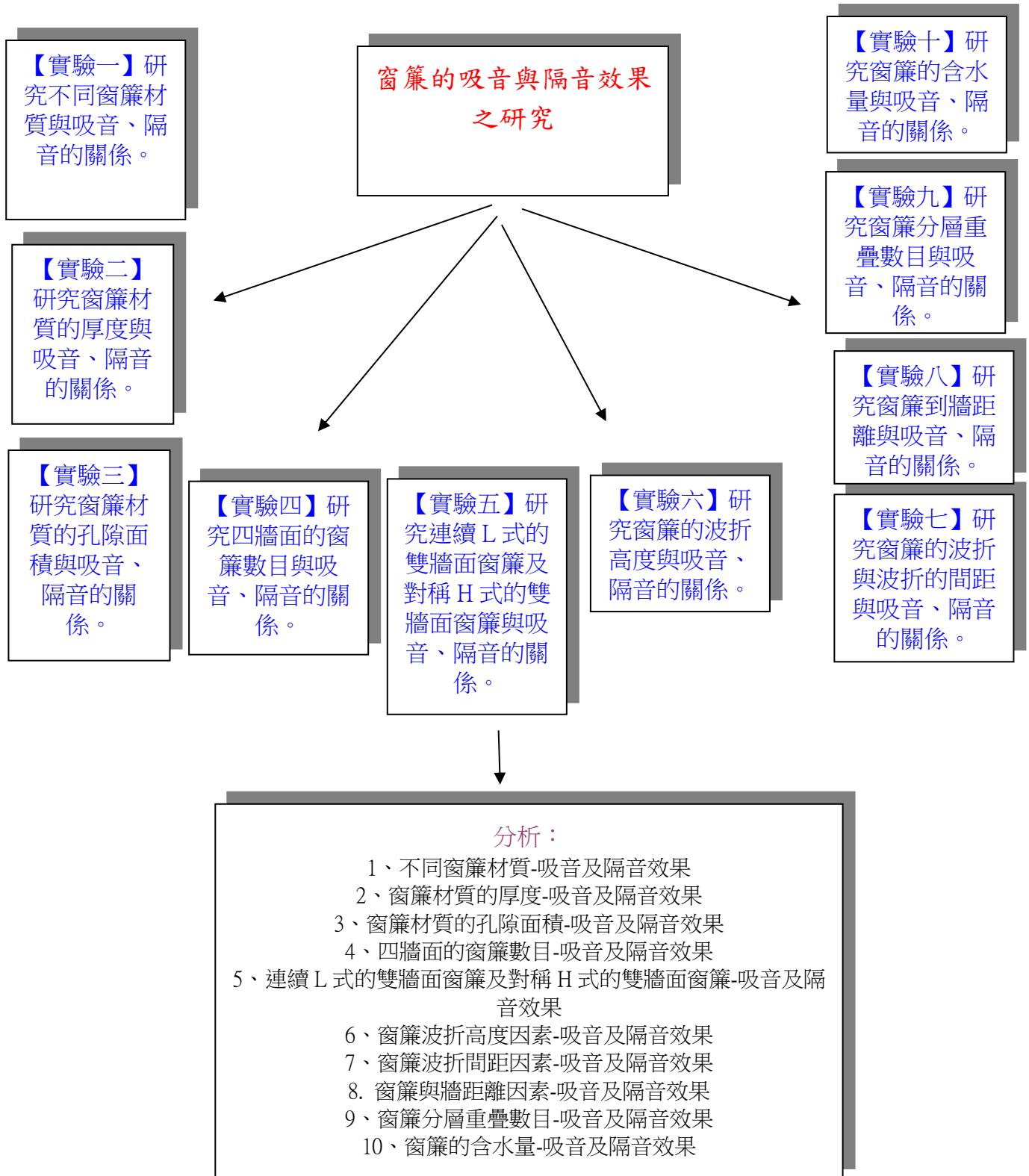


圖 5.9 研究流程

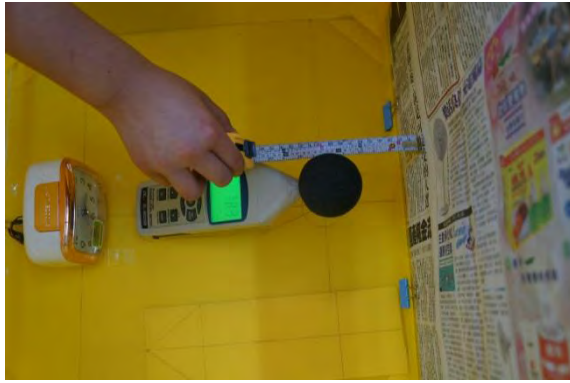


圖 5.10 窗簾吸音測試-分貝計架設情形(立體測試箱)



圖 5.11 窗簾吸音測試情形(立體測試箱)

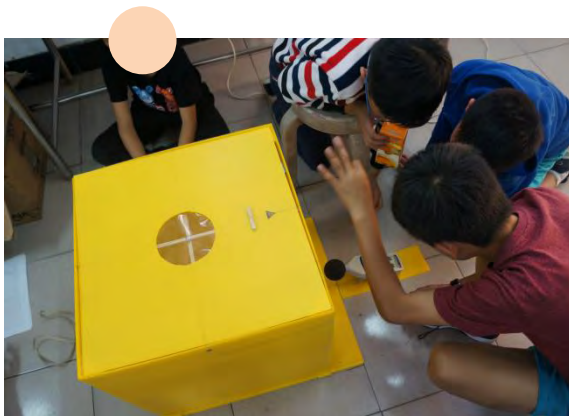


圖 5.12 窗簾隔音測試情形(立體測試箱)

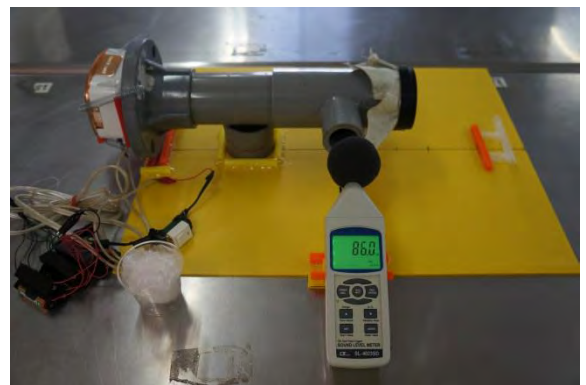


圖 5.13 窗簾吸音測試情形(傳聲筒測試平台)



圖 5.14 窗簾隔音測試情形(傳聲筒測試平台)



圖 5.15 小組討論情形

## 陸、研究結果

項目	試驗材料	試驗編號	操作變因	分貝計測量次數(dBA)					平均值(dBA)
				1	2	3	4	5	
<b>【實驗一】研究不同窗簾材質與吸音、隔音的關係(A 試驗)</b>									
A 吸音	空箱	0A		127.8	128.3	126.4	127.4	126.3	127.24
	海報紙質材料	1A	材料 1	124.5	124.4	125.3	125	125.2	124.88
	塑膠紙質材料	2A	材料 2	124.2	124.5	124.5	124	123.9	124.22
	紗質材料	3A	材料 3	123.1	123.6	123.8	123.4	123.3	123.44
	麻質材料	4A	材料 4	122.7	123.1	122.7	123.6	123.2	123.06
	棉質材料	5A	材料 5	123	122.8	122.7	122.6	122.6	122.74
	雙面材質材料	6A	材料 6	122.9	123.2	124	124.1	124.1	123.66
	厚棉質材料	7A	材料 7	122.1	121.5	122.1	121.9	122.1	121.94
A* 隔音	空箱	0A*		125.4	124.9	125.5	124.8	123.7	124.86
	海報紙質材料	1A*	材料 1	95.8	95.9	95.9	95.8	95.7	95.82
	塑膠紙質材料	2A*	材料 2	95.8	95.7	95.3	94.8	94.8	95.28
	紗質材料	3A*	材料 3	96.3	96.9	96.3	97.5	97.6	96.92
	麻質材料	4A*	材料 4	96.5	96.8	95.9	96	96.4	96.32
	棉質材料	5A*	材料 5	93.4	93.7	94.1	94.4	93.8	93.88
	雙面材質材料	6A*	材料 6	97	96.7	97	97.5	97.3	97.1
	厚棉質材料	7A*	材料 7	97.8	98.3	98.1	97.5	98.4	98.02
<b>【實驗四】研究四牆面的窗簾數目與吸音、隔音的關係(D 試驗)</b>									
D 吸音	棉質材料	5D-I	1 面	123	122.8	122.7	122.6	122.6	122.74
		5D-II	2 面	121.8	121.5	122	121.6	121.9	121.76
		5D-III	3 面	120.8	120.9	120.7	120.6	121	120.8
		5D-IV	4 面	120.2	119.7	119.6	119.4	120.2	119.82
D* 隔音	棉質材料	5D*-I	1 面	93.4	93.7	94.1	94.4	93.8	93.88
		5D*-II	2 面	95.9	95.6	95.3	95.4	95.7	95.58
		5D*-III	3 面	92	92.2	92	92.8	93	92.4
		5D*-IV	4 面	90.8	90	91.1	90.5	90	90.48
<b>【實驗五】窗簾擺設位置因素試驗(E 試驗)</b>									
E 吸音	棉質材料	5E-II L	L 型	121.8	121.5	122	121.6	121.9	121.76
		5E-II H	H 型	121.2	120.2	120.4	121.2	121.1	120.82
E* 隔音	棉質材料	5E*-II L	L 型	95.9	95.6	95.3	95.4	95.7	95.58
		5E*-II H	H 型	95.2	95.2	95	95.3	95.4	95.22
<b>【實驗六】研究窗簾的波折高度與吸音、隔音的關係(F 試驗)</b>									
F 吸音	棉質材料	5F-d0	高度 0cm	123	122.8	122.7	122.6	122.6	122.74
		5F-d2	高度 2cm	122.3	122.5	122.4	122.5	122.6	122.46

		5F-d4	高度 4 cm	122.1	122	121.9	122.3	122.5	122.16
		5F-d6	高度 6 cm	122.3	122.2	122.4	122.1	122.5	122.3
		5F-d8	高度 8 cm	122.3	122.6	122.6	122.4	122.5	122.48
		5F-d10	高度 10 cm	120.6	120.5	121.4	120.3	121	120.76
		5F-d12	高度 12 cm	121.7	122	121.6	122.2	122.3	121.96
		5F-d16	高度 16 cm	122.2	122.4	122.6	122.4	122.7	122.46
F* 隔音	棉質材料	5F*-d0	高度 0 cm	93.4	93.7	94.1	94.4	93.8	93.88
		5F*-d2	高度 2 cm	93.6	94.1	93.8	94.1	93.4	93.8
		5F*-d4	高度 4 cm	94	93.5	93.7	94.3	94.1	93.92
		5F*-d6	高度 6 cm	93.5	92.9	93.3	93.3	93.4	93.28
		5F*-d8	高度 8 cm	93.4	93	93.7	94.1	94.4	93.72
		5F*-d10	高度 10 cm	94.3	94.4	93.2	94.1	93.2	93.84
		5F*-d12	高度 12 cm	93.4	93	93.2	93.7	93.9	93.44
		5F*-d16	高度 16 cm	93	93.1	93.6	93	93.3	93.2
<b>【實驗七】研究窗簾的波折與波折的間距與吸音、隔音的關係(G 試驗)</b>									
G 吸音	棉質材料	5G-d0	間距 0 cm	123	122.8	122.7	122.6	122.6	122.74
		5G-d1	間距 1 cm	122.3	121.9	122	122.2	122.2	122.12
		5G-d2	間距 2 cm	123.5	123.4	123.6	123.2	123.5	123.44
		5G-d3	間距 3 cm	123.3	123.8	124.6	124	123.5	123.84
		5G-d4	間距 4 cm	122.5	123.5	122.7	123.3	123.2	123.04
		5G-d5	間距 5 cm	120.8	122.2	120.9	120.3	121.1	121.06
		5G-d6	間距 6 cm	121.9	121.1	121.5	121.4	121.6	121.5
		5G-d8	間距 8 cm	123.9	123.9	124	123.8	124.2	123.96
		5G-d10	間距 10 cm	122.8	122.6	122.7	123	123	122.82
		5G-d12	間距 12 cm	123.1	123	123.2	123.6	123.8	123.34
		5G-d16	間距 16 cm	123.5	124.2	124.5	124.3	124.6	124.22
G* 隔音	棉質材料	5G*-d0	間距 0 cm	93.4	93.7	94.1	94.4	93.8	93.88
		5G*-d1	間距 1 cm	93.6	94.3	94.4	94.1	94.8	94.24
		5G*-d2	間距 2 cm	95	94.6	94.4	95.1	95	94.82
		5G*-d3	間距 3 cm	95.5	95.8	95.6	95.3	95.6	95.56
		5G*-d4	間距 4 cm	96	95.7	96.2	96.5	96.9	96.26
		5G*-d5	間距 5 cm	95	94	94.8	94.4	95.1	94.66
		5G*-d6	間距 6 cm	93.4	93.8	93.7	94	93.9	93.76
		5G*-d8	間距 8 cm	92.7	92.6	94.1	93	93.6	93.2
		5G*-d10	間距 10 cm	92.8	92.9	93.3	93.1	93.4	93.1
		5G*-d12	間距 12 cm	93	92.8	92.6	93.1	92.9	92.88
		5G*-d16	間距 16 cm	95.3	95.5	95.6	95.4	95.5	95.46
<b>【實驗八】研究窗簾到牆距離與吸音、隔音的關係(H 試驗)</b>									
H	棉質材料	5H-d0	距牆 0 cm	123	122.8	122.7	122.6	122.6	122.74

吸音		5H-d1	距牆 1 cm	123.1	122.8	122.8	123.2	122.4	122.86
		5H-d2	距牆 2 cm	123.4	123.1	123	123.4	123.5	123.28
		5H-d3	距牆 3 cm	120.7	121.1	121.1	122	121.5	121.28
		5H-d4	距牆 4 cm	123.8	123.4	123.4	124.1	124	123.74
		5H-d5	距牆 5 cm	122.8	122.1	122	121.6	122.1	122.12
		5H-d6	距牆 6 cm	122.7	122.7	123.4	122.6	122.9	122.86
		5H-d10	距牆 10 cm	122.7	123.1	122.6	122.6	122.8	122.76
H* 隔音	棉質材料	5H*-d0	距牆 0 cm	93.4	93.7	94.1	94.4	93.8	93.88
		5H*-d1	距牆 1 cm	95.5	95.3	95.8	96.5	96.4	95.9
		5H*-d2	距牆 2 cm	96.8	97.3	97	96.9	96.9	96.98
		5H*-d3	距牆 3 cm	96.7	96.7	96.5	96.5	96.7	96.62
		5H*-d4	距牆 4 cm	97.5	96.5	97.3	97.2	97.4	97.18
		5H*-d5	距牆 5 cm	96.7	97.3	97.4	97.9	96.9	97.24
		5H*-d6	距牆 6 cm	97.3	97.9	97	97.6	96.5	97.26
		5H*-d10	距牆 10 cm	94.8	93.6	93.5	94.3	94.9	94.22

**【實驗九】研究窗簾分層重疊數目與吸音、隔音的關係(I 試驗)**

試驗材料	操作變因	分貝計測量次數(dBA)					平均值 (dBA)	音量減率 (%)		
		1	2	3	4	5				
吸音	報紙	0 層	127.8	128.3	126.4	127.4	126.3	127.24		
		1 層	126	123.3	126.5	126.9	125.4	125.62	1.273	
		2 層	116.3	124	116.2	123.4	119.7	119.92	5.753	
		4 層	125.8	121.3	121.6	128.5	125.8	124.6	2.075	
		8 層	124.5	125.8	127.6	125.6	124	125.5	1.367	
隔音	報紙	0 層	125.4	124.9	125.5	124.8	123.7	124.86		
		1 層	96.1	97.6	97.3	97.6	97	97.12	22.217	
		2 層	96.5	96.5	96.2	98.6	94.7	96.5	22.713	
		4 層	90.9	99.4	97.8	98.4	98.8	97.06	22.265	
		8 層	92.8	87.8	88.5	91.2	92.5	90.56	27.471	

**【實驗十】研究窗簾的含水量與吸音、隔音的關係(J 試驗)**

材質	操作變因	總重量測量次數(g)					平均(g)	水重(g)	含水量 (%)	
		1	2	3						
報紙	少水-0	1.78	1.71	1.76			1.750	0.000	0.00	
	少水-25	2.21	2.18	2.23			2.207	0.457	26.10	
	中水-50	2.64	2.67	2.64			2.650	0.900	51.43	
	中水-100	3.43	3.38	3.31			3.373	1.623	92.76	
	多水-150	4.4	4.36	4.3			4.353	2.603	148.76	
	多水-200	5.21	5.24	5.13			5.193	3.443	196.76	
棉窗簾	少水-0	8.57	8.66	8.65			8.627	0.000	0.00	
	少水-25	10.79	10.78	10.79			10.787	2.160	25.04	

	中水-50	12.97	12.91	12.13			12.670	4.043	46.87	
	中水-100	17.3	17.29	17.25			17.280	8.653	100.31	
	多水-150	21.7	21.71	21.63			21.680	13.053	151.31	
	多水-200	25.72	25.74	25.8			25.753	17.127	198.53	
試驗材料	含水量 (%)	分貝計測量次數(dBA)					平均值 (dBA)	音量減率 (%)		
		1	2	3	4	5				
吸音	報紙	0.00	87.9	87	87.3	87.4	88.3	87.58		
		26.10	90.5	89.8	89.7	90.2	90.2	90.08	-2.85	
		51.43	90.5	90.1	89.8	91.2	90.4	90.4	-3.22	
		92.76	89.8	90.3	88.5	88.5	88.6	89.14	-1.78	
		148.76	87	86.2	86.7	87.2	86.7	86.76	0.94	
		196.76	86.3	86.9	86.7	86.6	86.2	86.54	1.19	
隔音	報紙	0.00	126.8	124.8	127.5	129.7	129.7	127.7		
		26.10	126	123.2	128.7	124.7	124.3	125.38	1.82	
		51.43	122.5	126.6	124.6	125.6	126.7	125.2	1.96	
		92.76	98.8	97.3	97.4	97.8	98.4	97.94	23.30	
		148.76	96.1	97	96.9	96.8	97	96.76	24.23	
		196.76	95.4	95.5	94.8	95.7	95.4	95.36	25.32	
吸音	棉窗簾	0.00	86.5	87.2	86.8	86.8	86.8	86.82		
		25.04	85.3	84.7	85.4	85.2	85.2	85.16	1.91	
		46.87	85	85.3	85.1	84.8	85.2	85.08	2.00	
		100.31	83.1	85.5	86	83.9	83.1	84.32	2.88	
		151.31	79.6	79.1	78.8	79.3	79.2	79.2	8.78	
		198.53	79.2	78.8	79.3	78.8	79.6	79.14	8.85	
隔音	棉窗簾	0.00	128.3	127.2	126.6	128.3	128.1	127.7		
		25.04	127.7	127.2	127.2	127.8	126.9	127.36	0.27	
		46.87	128.6	123	122.2	131.7	121.9	125.48	1.74	
		100.31	98.8	96.7	97.5	97.7	97.8	97.7	23.49	
		151.31	83.9	85.9	85.9	85.4	85.9	85.4	33.12	
		198.53	84	83.2	84.1	83.7	84.8	83.96	34.25	

## 柒、討論

### 【音源分析】

<方法>利用 Samsung 平板 APP 軟體(PHYPHOX)，來觀測鬧鐘音源的聲譜及音高的範圍，來確定音高是人類可以聽到的範圍(20-20000HZ)。





圖 7.1 Samsung 平板操作 APP 軟體 (PHYPHOX - audio spectrum) 量測實驗音源聲譜的情況

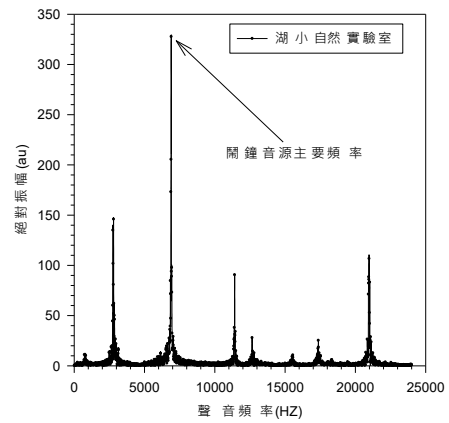


圖 7.2 量測實驗音源之聲譜結果

<結果>

- 1、實驗室的背景音聲譜(音高)範圍為 12~24000HZ，是人耳可接受感覺的範圍。
- 2、市售鬧鐘音源的聲音主要音高大約為 7000、3000HZ，亦在人耳可接受感覺的範圍。

<發現>

實驗室鬧鐘音源聲譜(音高)範圍為 12~24000HZ，其中最大頻率為 7000、3000HZ 是人耳可感覺接受到，所以可以模擬日常噪音。

【實驗一】研究不同窗簾材質與吸音、隔音的關係(A 試驗)

<方法>將不同材質的窗簾，所反應出的分貝值，整理成表 6.1，並繪製出比較的長條圖，如下所示。

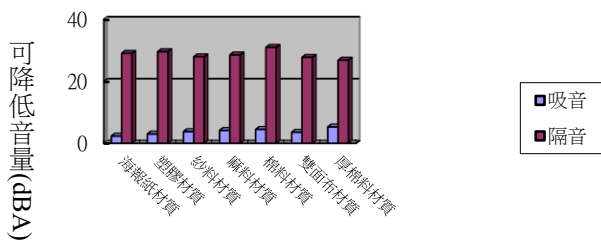


圖 7.3 吸音、隔音測試可降低分貝值-不同窗簾材質之關係圖

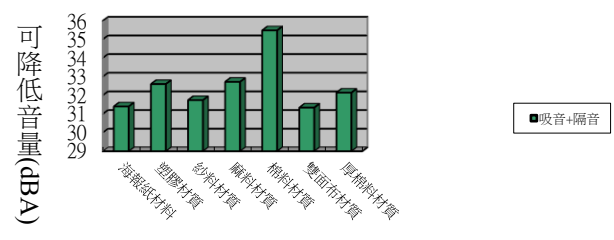


圖 7.4 吸音+隔音測試降低分貝值-不同窗簾材質之關係

<結果>

吸音部份：

- 1 吸音最好的材料是厚棉材質窗簾，約可降低 5dBA。
- 2.吸音程度大小順序是---厚棉材質>棉材質>麻材質>紗材質>雙面料材質>塑膠紙材質>海報紙材質。

隔音部份：

- 1.隔音最好的材料是棉材質窗簾，約可降低 31dBA。
- 2.隔音程度大小順序是---棉材質>塑膠紙材質>厚棉材質>海報紙材質>麻材質>紗

材質>雙面料材質。

**吸音+隔音**：

- 1.吸音+隔音效果最好的材料是棉材質窗簾，約可降低 35.5dBA 音量。
- 2.並不是材質越厚，吸音+隔音效果就越好，如雙面布材質。
- 3.吸音+隔音效果大小順序是---棉材質>麻材質>塑膠紙材質>厚棉材質>紗材質>海報紙材質>雙面料材質。

### <發現>

吸音最好的窗簾材料是厚棉材質 (降低 5dBA)、隔音最好的窗簾材料是棉材質 (降低 31dBA)、吸音+隔音效果最好的窗簾材料是棉材質 (降低 35.5dBA)。平均窗簾可以吸音 3.8 dBA、隔音 28dBA，隔音效果>吸音效果。

### <探究分析>

塑膠紙材質及海報紙材質，在隔音方面有不錯的表現，我們推論塑膠紙材質及海報紙材質是較不透氣的材質，天然材質的孔隙大小配比較為完整，所以較容易隔絕聲音。棉材質窗簾在吸音及隔音方面，有很好的表現，所以下一步的非窗簾材料因素的研究材料(實驗三以後)，我們選擇使用以棉材質窗簾為主。

## 【實驗二】研究窗簾材質的厚度與吸音、隔音的關係(B 試驗)

<方法>利用游標尺量測窗簾材料厚度，且將分貝值及材料厚度整理成表 7.1，並繪製出可降低分貝值-材料厚度關係圖，如下所示。

表 7.1 窗簾厚度因素試驗(B 試驗)之結果彙整表

項目	試驗料材	研究編號		平均分貝降低值 (dBA)		材料厚度(mm)
				B(吸音)	B*(隔音)	
【實驗二】窗簾厚度因素試驗(B 試驗)						
1	海報紙質材料	1B	1B*	2.36	29.04	0.2
2	塑膠紙質材料	2B	2B*	3.02	29.58	0.1
3	紗質材料	3B	3B*	3.8	27.94	0.7
4	麻質材料	4B	4B*	4.18	28.54	0.4
5	棉質材料	5B	5B*	4.5	30.98	0.4
6	雙面材質材料	6B	6B*	3.58	27.76	0.5
7	厚棉質材料	7B	1B*	5.3	26.84	1.5

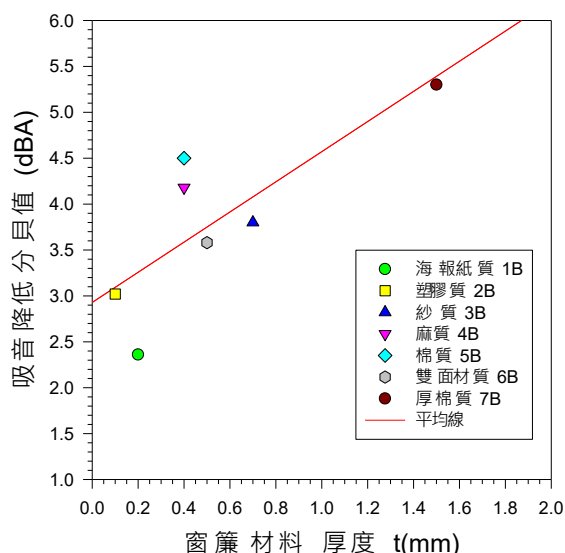


圖 7.5 吸音降低分貝值-不同窗簾材質厚度之關係圖

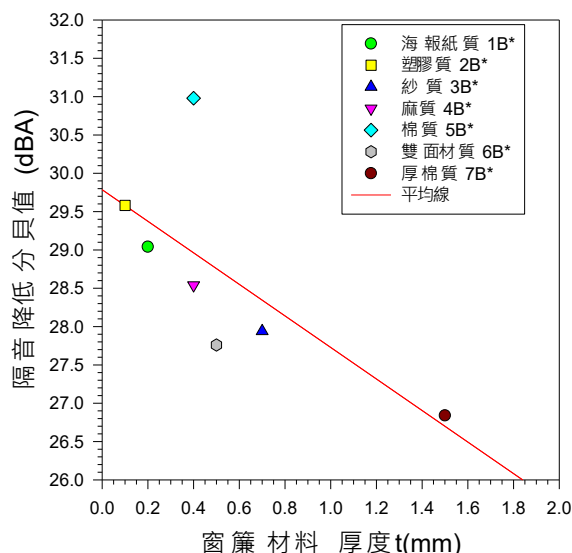


圖 7.6 隔音降低分貝值-不同窗簾材質厚度之關係圖

### <結果>

#### 吸音部份：

- 1.窗簾材料厚度與吸音效果呈正相關性，越厚吸音效果越好。
- 2.平均厚度在 0.5mm 時，會降低 3.7dB(A) 的音量。
- 3.厚度每增加 1mm，可以降低 2.2 dB(A) 的音量。
- 4.厚度越厚吸音效果越好。
- 5.最高的厚棉質可以降低 5.3dB(A),最低的海報紙只有降低 2.36 dB(A)。

#### 隔音部份：

1. 窗簾材料厚度與隔音效果呈負相關性，越厚隔音效果反而變差。
- 2.平均厚度在 0.5mm 時，會降低 28.7dB(A) 的音量。
- 3.厚度每增加 1mm，可以增加 2.1 dB(A) 的音量。
- 4.棉質的隔音最好

### <發現>





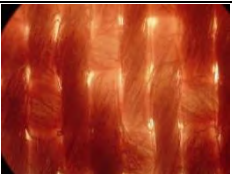
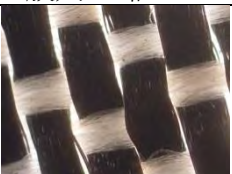

窗簾材料厚度與吸音效果呈正相關性，與隔音效果呈負相關性，窗簾材質厚度的確會影響吸音及隔音效果。厚度的增加，對吸音有利，但對隔音反而不利，真是神奇。

### 【實驗三】研究窗簾材質的孔隙面積與吸音、隔音的關係(C 試驗)

<方法>利用光學顯微鏡觀察窗簾材質的孔隙大小，且將分貝值及材料孔隙面積整理成表 7.2，並繪製出可降低分貝值-材料孔隙面積關係圖，如下所示。

表 7.2 窗簾材質孔隙面積因素試驗(C 試驗) 之結果彙整表

項目	試驗材料	研究編號	材料厚度 (mm)	平均分貝降低值 (dB(A))	材料在顯微鏡下的情況	孔隙觀察結果 (mm)	孔隙面積 (mm <sup>2</sup> )
----	------	------	-----------	-----------------	------------	-------------	-------------------------

				B (吸音)	B* (隔音)				
<b>【實驗三】窗簾材質孔隙面積因素試驗(C 試驗)</b>									
1	海報紙質材料	1B	1B*	0.22	2.36	29.04	 放大 30 倍*4%	---	---
2	塑膠紙質材料	2B	2B*	0.1	3.02	29.58	 放大 30 倍*4%	---	---
3	紗質材料	3B	3B*	0.7	3.8	27.94	 放大 30 倍*4%	長 1mm 寬 0.3mm	0.3mm <sup>2</sup>
4	麻質材料	4B	4B*	0.4	4.18	28.54	 放大 60 倍*4%	長 0.3mm 寬 0.3mm	0.09mm <sup>2</sup>
5	棉質材料	5B	5B*	0.4	4.5	30.98	 放大 60 倍*4%	長 0.3mm 寬 0.08mm	0.024mm <sup>2</sup>
6	雙面材質材料	6B	6B*	0.5	3.58	27.76	 放大 60 倍 4%	長 0.7mm 寬 0.1mm	0.07mm <sup>2</sup>
7	厚棉質材料	7B	1B*	1.5	5.3	26.84	 放大 30 倍*4%	長 1.17mm 寬 0.08mm	0.094mm <sup>2</sup>

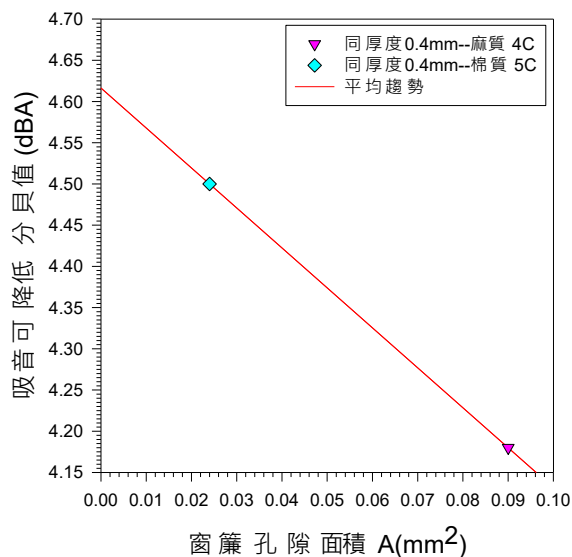


圖 7.7 吸音降低分貝值-窗簾材質孔 隙面積之關係圖

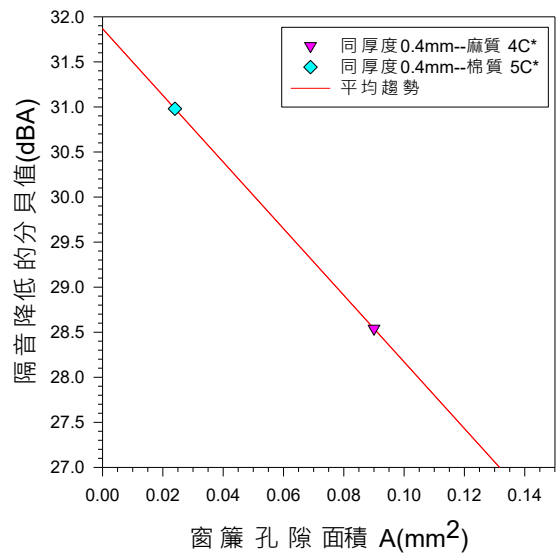


圖 7.8 隔音降低分貝值-窗簾材質孔 隙面積之關係圖

### <結果>

#### 吸音部份：

1. 同厚度的窗簾材料(厚 0.4mm)孔 隙面積與吸音效果呈負相關性，孔 隙面積越 小，吸音效果越好。
2. 平均孔 隙面積在 0.05mm<sup>2</sup> 時，會降低 4.37dB(A) 的音量。
3. 平均孔 隙面積減少 0.05mm<sup>2</sup>，可以降低 0.26dB(A) 的音量。

#### 隔音部份：

1. 同厚度的窗簾材料(厚 0.4mm)孔 隙面積與隔音效果呈負相關性，材 料孔 隙面積越 小，隔音效果越好。
2. 平均孔 隙面積在 0.05mm<sup>2</sup> 時，會降低 30dB(A) 的音量。
3. 平均孔 隙面積減少 0.05mm<sup>2</sup>，可以降低 1.58dB(A) 的音量。

### <發現>

同厚度的窗簾材質(厚 0.4mm)的孔 隙大小，會影響吸音及隔音效果，窗簾材 料孔 隙面積與吸音、隔音效果都呈負相關性。窗簾材 料孔 隙面積越 小，對吸音及隔音越有利。

### 【實驗四】研究四牆面的窗簾數目與吸音、隔音的關係(D 試驗)

<方法>改變牆面窗簾面數，將分貝值及窗簾面數整理成表 6.1，並繪製出分貝 值-牆面窗簾數目關係圖，如下所示。

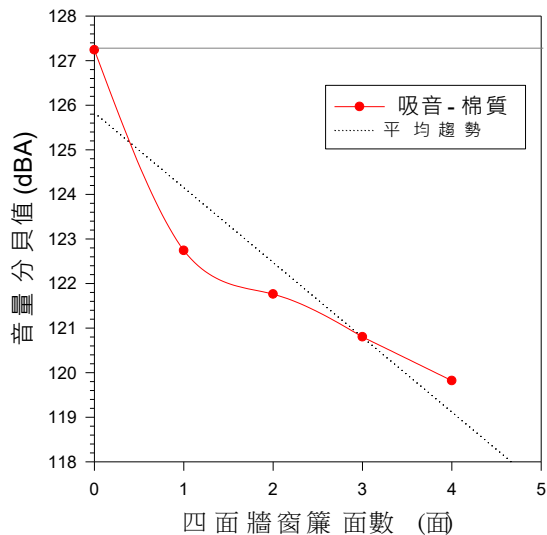


圖 7.9 吸音測試的分貝值-牆面窗簾數目之關係圖

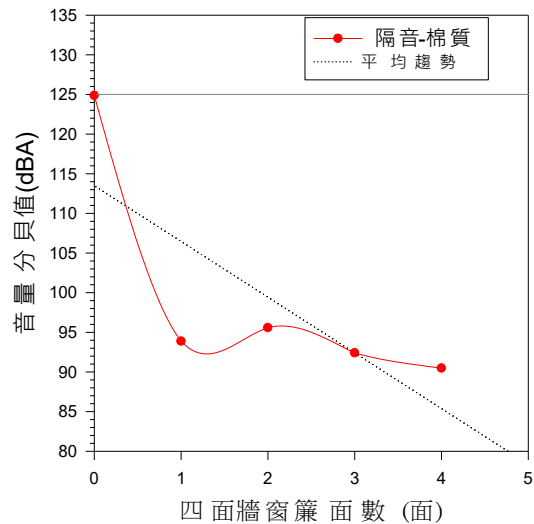


圖 7.10 隔音測試的分貝值-牆面窗簾數目之關係圖

### <結果>

#### 吸音部份：

1. 窗簾面數與吸音音量分貝值呈負相關性，也就是與吸音效果呈正相關性，窗簾面數越多，吸音效果越好。
2. 加入第一牆面窗簾，減少 4.5dBA 音量；加入第一二牆面窗簾，減少 5.48dBA 音量；加入第一二三牆面窗簾，減少 6.44dBA 音量；加入第一二三四牆面窗簾(牆面全加)，會減少 7.42dBA 音量(5.8%)。

#### 隔音部份：

1. 窗簾面數與隔音音量分貝值呈負相關性，窗簾面數與隔音效果呈正相關性，簾面數越多隔音效果越好。
2. 加入第一牆面窗簾，減少 30.98dBA；加入第一二牆面窗簾，減少 29.28dBA；加入第一二三牆面窗簾，減少 32.46dBA；加入第一二三四牆面窗簾(牆面全加)，會減少 34.38dBA (27%)。

### <發現>

牆面窗簾數目，會影響吸音及遮音效果，窗簾面數與吸音、隔音效果都呈正相關性，窗簾數目越多，吸音及隔音效果越好。依序加入窗簾數目當中，以加入第一牆面窗簾的吸音及 隔音效果改善最明顯。整體看來音量改善效果，隔音效果(減少 27%音量)> 吸音效果(減少 5.8%音量)，是很奇特的現象。

### 【實驗五】研究連續 L 式的雙牆面窗簾及對稱 H 式的雙牆面窗簾與吸音、隔音的關係(E 試驗)

<方法>改變第一二面牆(連續 L 式)窗簾的排法，採用第一三面牆(對稱 H 式) 窗簾的排法，將分貝值及窗簾面數整理成表 6.1，並繪製出分貝值-窗簾面數關係圖及長條圖，如下所示。

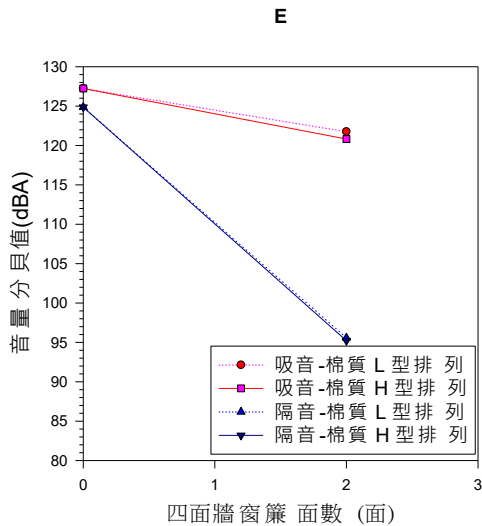


圖 7.11 吸音及隔音測試的分貝值-牆面窗簾數目之關係圖

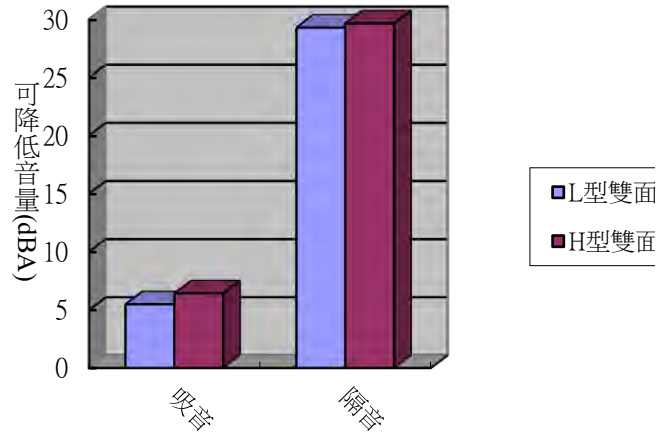


圖 7.12 吸音及隔音測試的分貝值-牆面雙牆面窗簾數(L型、H型)之關係圖

<結果>

**吸音部份**：

1. 對稱 H 式窗簾可以降低 6.42dBA 音量，連續 L 式窗簾可以降低 5.48dBA 音量。
2. 對稱 H 式窗簾吸音效果大於連續 L 式窗簾。

**隔音部份**：

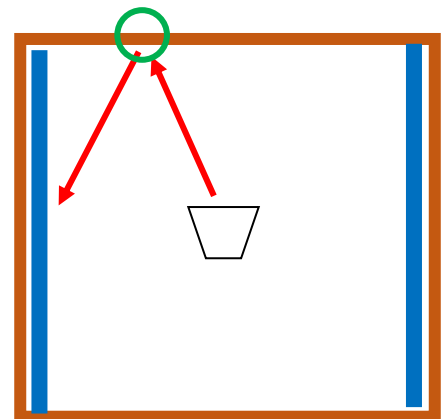
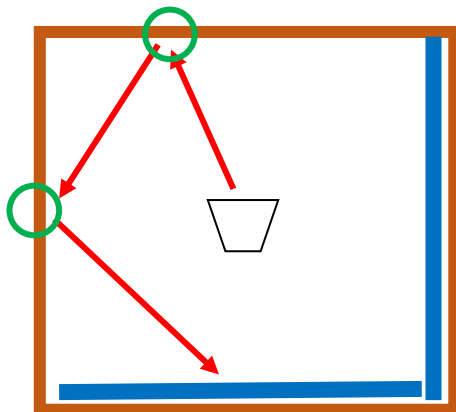
1. 對稱 H 式窗簾可以降低 29.64dBA 音量，連續 L 式窗簾可以降低 29.68dBA 音量。
2. 對稱 H 式窗簾遮音效果大於連續 L 式窗簾。

<發現>

對稱 H 式窗簾的吸音及隔音效果，都比連續 L 式窗簾好，大約平均可以降低 0.9 dBA 的音量。

<探究分析>

對稱 H 式窗簾的吸音及隔音效果，都比連續 L 式窗簾好，我們推論：雙牆 L 式窗簾設置，會有連續二面牆的聲波反射點，無法被窗簾吸收，使得聲波多反射一次能量累加，而雙牆對稱 H 式窗簾，即可被窗簾吸收，則只有一個聲波反射點，能量較不會累加。



**【實驗六】研究窗簾的波折高度與吸音、隔音的關係(F 試驗)**

<方法>固定窗簾波折間距為 4cm，增加窗簾的波折高度(2、4、6、8、10、12、16cm)，將分貝值及折痕高度整理成表 6.1，並繪製出分貝值-窗簾折痕高度關係圖，如下所示。

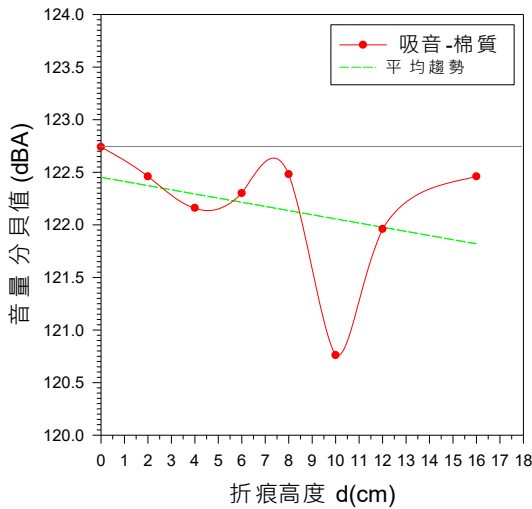
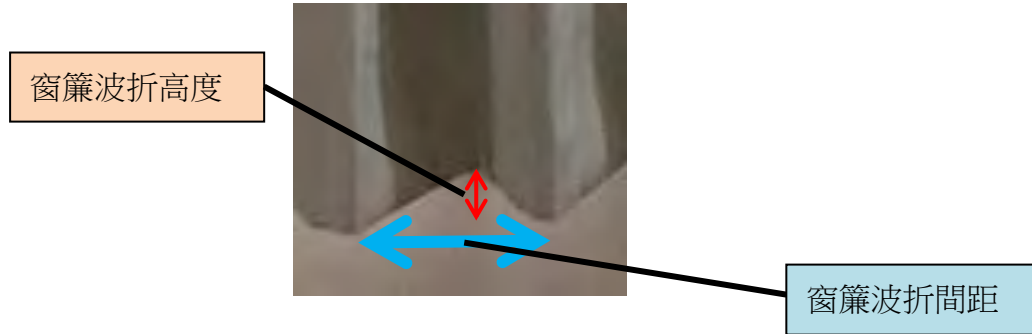


圖 7.13 吸音測試的分貝值-窗簾波折高度之關係圖

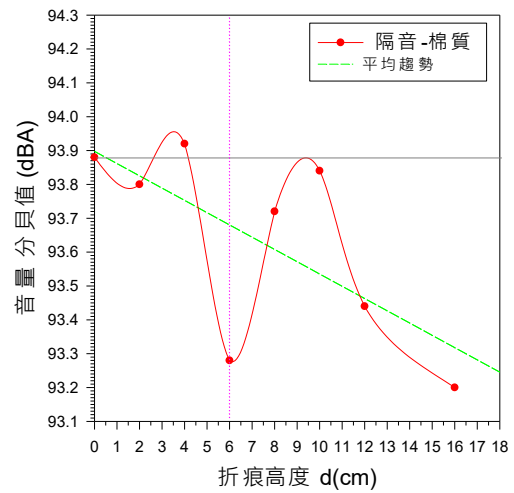


圖 7.14 隔音測試的分貝值-窗簾波折高度之關係圖

<結果>

**吸音部份：**

1. 窗簾波折高度與吸音音量分貝值平均趨勢呈負相關性，也就是與吸音效果呈正相關性。
2. 在波折高度為 10cm 處，有最好的吸音效果，可減少 1.98dBA 音量。
3. 波折高度大於 12cm 時，音量大小變化會趨於穩定。

**隔音部份：**

1. 窗簾波折高度與隔音音量分貝值平均趨勢呈負相關性，也就是與隔音效果呈正相關性。
2. 波折高度改變，會造成微小的遮音效果。在波折高度為 6cm 處，有好的隔音效果，可減少 0.6dBA 音量，大於 10cm 有好的隔音效果且在 16cm 處有最大的隔音效果，可減少 0.68dBA 音量。
3. 波折高度大於 12cm 時，音量大小變化會趨於穩定。



### <發現>

窗簾的波折高度，的確會影響吸音及遮音效果。窗簾波折高度與吸音、隔音效果都呈正相關性。窗簾波折高度在 $\geq 10\text{cm}$  處有很好的吸音效果，遮音也在許可之上，真神奇。

### <探究分析>

窗簾波折高度與吸音、隔音效果都呈正相關性，我們推論：窗簾波折高度越高會形成銳角三角形，如同專業書籍提到的吸音契【一】 (p329 頁：當音波端部入射時，由於吸音層的逐漸過渡，材料的音阻抗與空氣阻抗能較好的搭配，使入射音波絕大部分進入材料內部而被有效地吸收。)所以從尖端入射後，角度小音波被吸收，進而達到吸音及隔音效果。

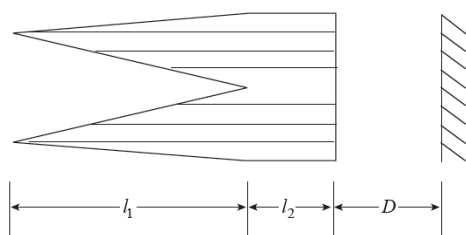


圖 7.15 吸音契(尖劈)示意圖(截取自 盧博堅、劉嘉俊(2011)。噪音控制與防制。)

### 【實驗七】研究窗簾的波折與波折的間距與吸音、隔音的關係(G 試驗)

<方法>根據【實驗六】窗簾波折高度因素(C-L 試驗)的結果，固定窗簾波折高度為 10cm，改變窗簾的波折間距(1、2、3、4、5、6、8、10、12、16cm)，將分貝值及波折間距整理成表 6.1，並繪製出分貝值-窗簾折痕間距關係圖，如下所示。

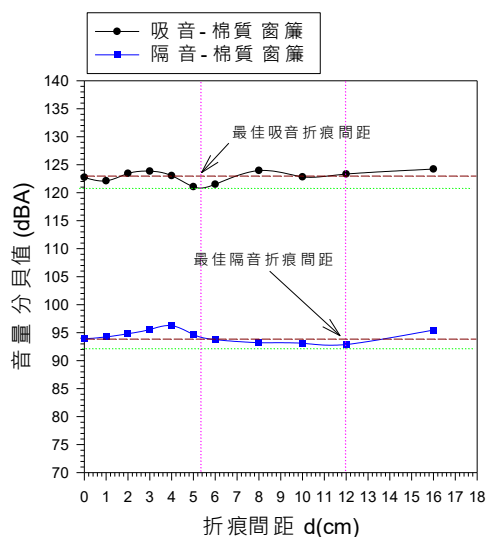


圖 7.16 吸音及隔音測試的分貝值-窗簾波折間距之關係圖

### <結果>

### 吸音部份：

- 1.在波折間距為 4 至 7cm 處，有明顯的吸音效果。
- 2.在波折間距約為 5cm 處，有最佳的吸音效果，約可降低 1.68dBA 音量。

### 隔音部份：

- 1.在波折間距為 6 至 13cm 處，有明顯的遮音效果。
- 2.在波折間距為 12cm 處，有最佳的遮音效果，約可降低 1dBA 音量。

### <發現>

窗簾的波折與波折間距，影響吸音及遮音效果。吸音效果最佳波折間距是 5cm，遮音效果最佳波折間距是 12cm。吸音+遮音效果最佳波折間距是 6 至 7cm。

### <探究分析>

窗簾的波折與波折間距會影響吸隔音效果，我們推論：窗簾波折間距若過大會形成較大角度三角形，就無法形成有效的三角形吸音契，若過小會增加折數，進而增加尖端反射面積而無法有吸音及隔音效果。

## 【實驗八】研究窗簾到牆距離與吸音、隔音的關係(H 試驗)

<方法>改變棉質窗簾與牆面的距離(1、2、3、4、5、6、10cm)，將分貝值及窗簾到牆面的距離整理成表 6.1，並繪製出分貝值-窗簾與牆面的距離關係圖進行分析，如下所示。

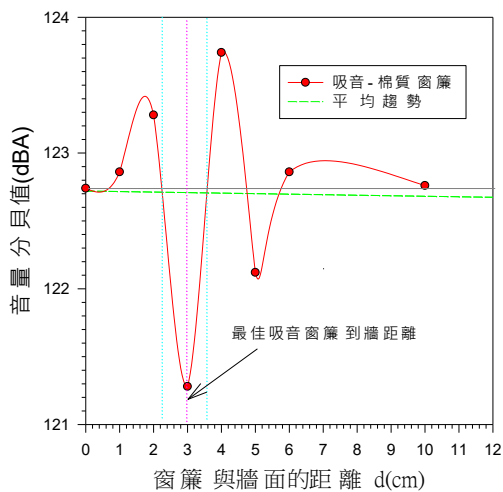


圖 7.17 吸音測試的分貝值-窗簾到牆面距離之關係圖

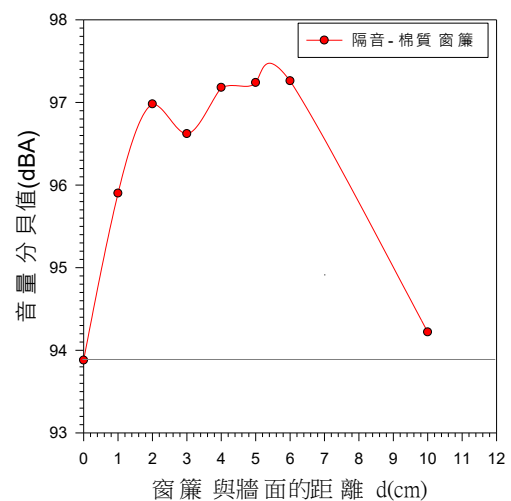


圖 7.18 隔音測試的分貝值-窗簾到牆面距離之關係圖

### <結果>

#### 吸音部份：

1. 窗簾到牆距離與吸音效果呈正相關性。
2. 窗簾到牆面的距離 2.4~3.6cm 及 4.7~6cm 處，有吸音效果。
3. 最佳的吸音效果，在窗簾與牆面距離 3cm 處，可降低 1.46dBA 音量。
4. 3 公分是最好的吸音窗簾距離，最好跟最不好差近 2.5dBA。

#### 隔音部份：

1. 窗簾到牆距離與隔音效果呈負相關性。

2. 改變窗簾與牆面的距離，沒有隔音效果。
3. 離開牆隔音效果變差，最好不要離牆，最好跟最不好差近 3.4dB A。

### <發現>

窗簾到牆距離與吸音效果呈正相關性、與隔音效果呈負相關性。窗簾與牆的距離增加，對吸音有利，但對隔音是不利的。最佳的吸音效果，在窗簾與牆的距離 3cm 處。

### <探究分析>

窗簾與牆的距離增加，對吸音有利，但對隔音是不利的。我們推論：窗簾與牆的距離增加會形成一大空氣層，聲波會由牆與窗簾不密合的四周縫隙進入，而不回射室內，使得吸音效果增加，但會有部份聲波直接穿透牆面，讓隔音效果降低。

## 【實驗九】研究窗簾分層重疊數目與吸音、隔音的關係(H 試驗)

<方法>利用報紙窗簾的重疊數目(1、2、4、8 層)，並繪製出音量折減率-重疊數目關係圖，進行分析，如下所示。

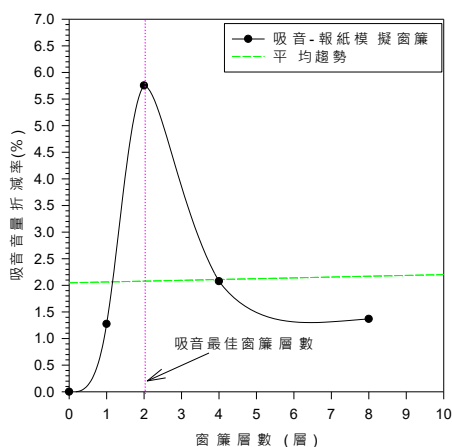


圖 7.19 吸音音量折減率-窗簾層數之關係圖

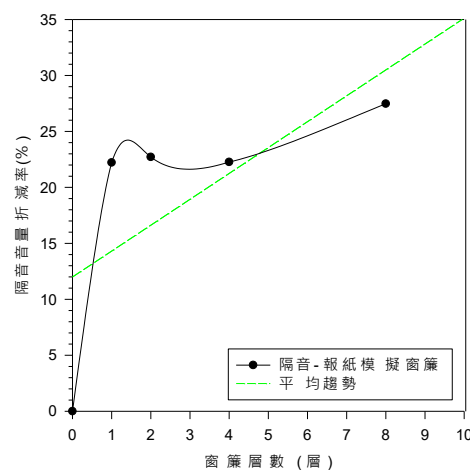


圖 7.20 隔音音量折減率--窗簾層數之關係圖

### <結果>

#### 吸音部份：

- 1、窗簾層數與吸音量折減率呈相關性，2 層之內呈正相關、2 層以上呈負相關，6 層以上趨於穩定。
- 2、多層窗簾會有吸音效果，但 2 層是最佳吸音窗簾數，約有 5.8% 的吸音量折減率。

#### 隔音部份：

- 1、窗簾層數與隔音量折減率呈正相關性。
- 2、多層窗簾會有隔音效果，但 1-4 層效果差不多為 22% 的隔音量折減率。
- 3、4 層窗簾以上隔音效果會再提升，8 層約有 27% 的隔音量折減率。

### <發現>

多層窗簾，就會有吸音及隔音效果，窗簾層數在 2 層以內與吸音、隔音量折減率呈正相關性，其中 2 層窗簾為最佳吸音與隔音窗簾數(音量折減率吸音 5.8% = 7.32 dBA、隔音 22% = 28.36 dBA)，此時經濟性也最佳。

### <探究分析>

為什麼只要窗簾多層，就會有吸音及隔音效果，我們推論：由【實驗一】到【實驗四】得知窗簾的隔音效果>吸音效果，若窗簾再加層會使效果更明顯，但以二層為最佳經濟及效果性。

接下來我們要研究材質含水量是否會影響吸隔音，為了精確控制水量，我們將窗簾面積縮小，以減少灑水面積誤差，所以特別自製傳聲筒測試平台來測量窗簾含水量吸音、隔音效果。

### 【實驗十】研究窗簾的含水量與吸音、隔音的關係(H 試驗)

<方法>利用水霧化器將棉質窗簾、報紙窗簾，灑上不同的水量(低 0%、低 25%、中 50%、中 100%、高 150%、高 200%含水量)，並繪製出音量折減率-窗簾的含水量關係圖，進行分析，如下所示。

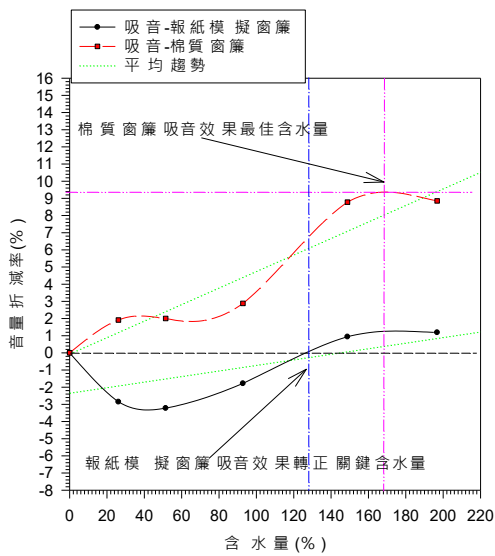


圖 7.21 吸音音量折減率-窗簾含水量之關係

圖

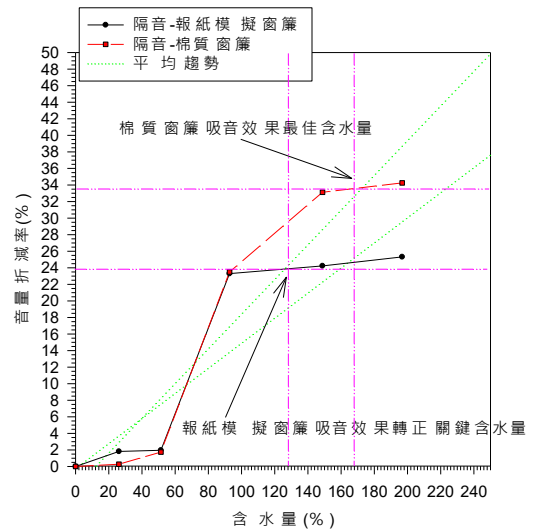
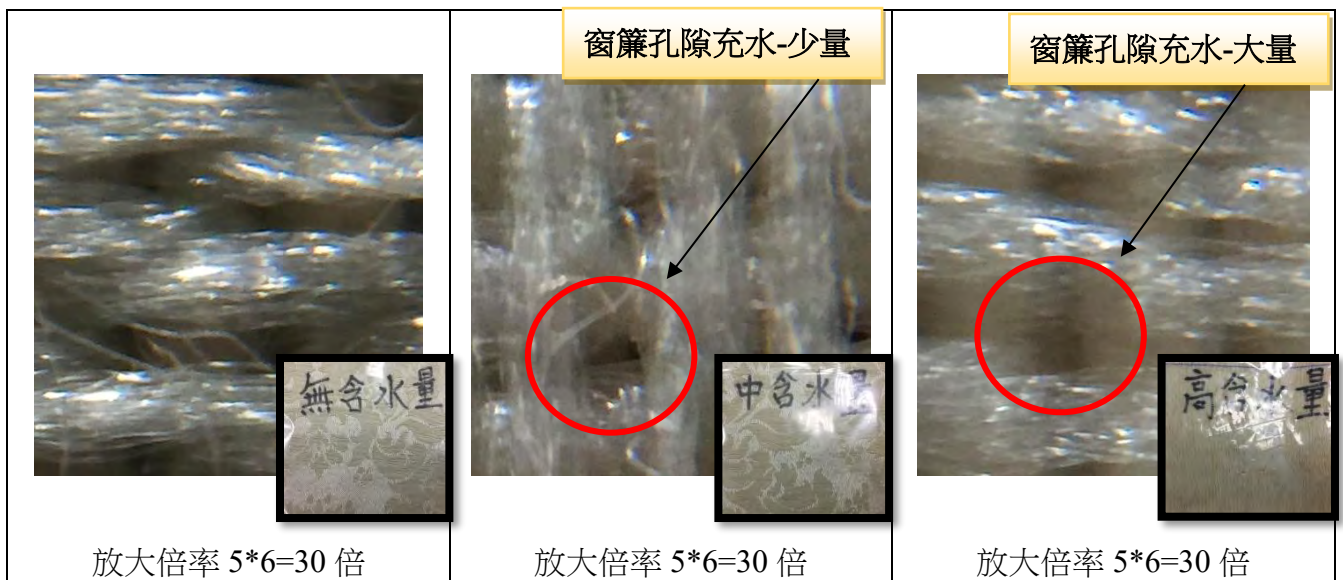


圖 7.22 隔音音量折減率-窗簾含水量之關係

圖



放大倍率 5\*6=30 倍

放大倍率 5\*6=30 倍

放大倍率 5\*6=30 倍

棉質窗簾 含水量 0%(低)	棉質窗簾 含水量 50%(中)	棉質窗簾 含水量 200%(高)
----------------	-----------------	------------------

### <結果>

#### 吸音部份：

- 1、棉質及報紙質窗簾含水量與平均吸音量折減率呈正相關性，含水量越多吸音效果越好。
- 2、棉質窗簾含水量為 168%時吸音效果最佳，此時吸音效果可達減音 9.4% (8.16 dBA)。
- 3、報紙質窗簾含水量<126%時隔音量折減率呈負值性，也就是當窗簾含水量<126%時吸音效果就會變差，其中 40%含水量的吸音效果最差，但含水量再增加，竟然吸音效果會慢慢變好，當含水量>126%時會使吸音量折減率轉正，真正形成吸音效果。

#### 隔音部份：

- 1、棉質及報紙質窗簾含水量與隔音量折減率呈正相關性，含水量越多隔音效果越好。
- 2、棉質窗簾含水量升高到 168%(最佳吸音含水量)時，此時隔音效果可達減音 33.5%(42.78 dBA)。
- 3、報紙質窗簾含水量升高到 126%時會使吸音量折減率轉正，真正形成吸音效果，此時隔音效果可達減音 24%。

### <發現>

棉質及報紙質窗簾含水量與吸隔音量折減率呈正相關性，窗簾材質在高含水量時都有很好的吸音及隔音效果，棉質窗簾含水量為 168%為最佳吸音含水量，此時吸音效果可達減音 9.4%(8.16 dBA)、隔音效果可達減音 33.5%(42.78 dBA)。

### <探究分析>

由文獻得知，當材料吸收振波，材料本身為了吸收及抵消振波能量，溫度會上升，溫度上升吸音效能會降低，此時若加入水分子會把產生的熱吸收揮發帶走，吸音效能再次提升，但報紙材質孔隙較小，在低含水量時水分子會先阻塞小孔隙，反而讓音波反射，所以吸音效果會變差，但高含水量時，大量水分子的吸熱及吸音作用，使得吸音效能再次提升；隔音部分，當水分子進入窗簾材質孔隙中，窗簾孔隙都充滿是水，就沒有多餘的孔隙讓聲音穿透。

## 捌、結論

- 一、窗簾材質因素：窗簾材質會影響吸音及遮音效果，平均窗簾可以吸音 3.8 dBA、隔音 28dBA，隔音效果>吸音效果。吸音+隔音效果最好的材料是棉材質窗簾(降低 35.5dBA)。吸音+隔音效果大小順序：棉材質>麻材質>塑膠紙材質>厚棉材質>紗材質>海報紙材質>雙面料材質。
- 二、窗簾材料厚度因素：材料厚度與吸音效果呈正相關性，與隔音效果呈負相關性，窗簾材料厚度增加，對吸音效果有利，但對隔音效果不利。
- 三、窗簾材料孔隙面積因素：材料孔隙面積與吸音、隔音效果都呈負相關性。窗簾材料孔隙面積越小，對吸音及隔音都有利。
- 四、窗簾面數因素：窗簾面數與吸音、隔音效果都呈正相關性，窗簾牆面數目越多，吸音及遮音效果越好，且隔音效果(減少 27%音量)> 吸音效果(減少 5.8%音量)，加入第一牆面窗簾的吸音及遮音效果改善最明顯。

- 五、窗簾擺設位置因素：窗簾擺設位置(雙牆面對稱 H 型擺設)的吸音及隔音效果，都比(雙牆面連續 L 型擺設)窗簾好，大約可以降低 0.9 dBA 的音量。
- 六、窗簾波折高度因素：窗簾波折高度與吸音、隔音效果都呈正相關性。窗簾波折高度在 $\geq 10\text{cm}$  有很好的吸音效果。
- 七、窗簾波折間距因素：吸音效果最佳波折間距是 5cm，隔音效果最佳波折間距是 12cm，吸音+隔音的最佳波折間距是 6 至 7cm。
- 八、窗簾到牆距離因素：窗簾到牆距離與吸音效果呈正相關性，與隔音效果呈負相關性；窗簾與牆面的距離 2.4~3.6cm 及 4.7~6cm 處有吸音效果；窗簾到牆距離 3cm(可降低 1.46dBA)，有最佳的吸音效果。
- 九、多層窗簾因素：窗簾多層就會有吸音及隔音效果，窗簾層數在 2 層以內與吸音、隔音量折減率呈正相關性，其中 2 層窗簾為最佳吸音與隔音窗簾數(音量折減率吸音 5.8%=7.32 dBA、隔音 22%=28.36 dBA)，此時經濟性也最佳。
- 十、含水量因素：棉質及報紙質窗簾含水量與吸隔音量折減率呈正相關性，窗簾材質在高含水量時都有很好的吸音及隔音效果，棉質窗簾含水量為 168% 為最佳吸音含水量，此時吸音效果可達減音 9.4%(8.16 dBA)、隔音效果可達減音 33.5%(42.78 dBA)。
- 十一、最後發現，利用窗簾法改善教室噪音，來增加吸音及隔音效果是有效的，我們的建議是：使用棉質窗簾(厚度 0.4mm 以上，孔隙面積小於 0.054 mm<sup>2</sup>)、四牆都掛上窗簾(若金費不足至少要使用雙牆對稱 H 式窗簾)、窗簾折痕高度 $\geq 10\text{cm}$ 、折痕間距 6~7cm、窗簾與牆面的距離 3cm、選擇 2 層窗簾、窗簾含水量升 $\geq 168\%$ ，就會有很好的吸音及隔音效果。理想預估吸音效果會減少 42dBA 音量，隔音效果會減少 139dBA 音量。或許改善噪音有著不確定因素，但我們此小小的巧思，說不定可以提供其他興趣者研究參考及發揚應用。

	窗簾材質	擺設位置	波折高度	波折間距	距牆	多層	含水量	合計(dBA)
理想值	棉	四面	$\geq 10\text{cm}$	6-7cm	3cm	2 層	$\geq 168\%$	最後理想值
吸音效果 (dBA)	-14.5	-7.42	-1.98	-1.24	-1.46	-7.32	-8.16	-42.08
隔音效果 (dBA)	-30.98	-34.38	-0.04	-0.12	-2.74	-28.36	-42.78	-139.4

## 玖、參考資料及其他

- 一、盧博堅、劉嘉俊(2011)。噪音控制與防制。台北：滄海書局。第 306-344 頁。
- 二、劉君祖等人(2002)。小牛頓科學百科 4。台北：牛頓出版股份有限公司。第 120-130 頁。
- 三、陳育仁等人(2001)。新知識-聲和波。台北：圖文出版事業股份有限公司。
- 四、林素月/譯 (1978)。大學物理。台南：台南東海出版社。第 621-629 頁。
- 五、陳金文(1998)。噪音量測與控制技術應用。台北：科技圖書。
- 六、賴耿陽(1990)。環境噪音防止技術。台南：復漢出版社。
- 七、張柏成/譯(1985)。噪音控制之原理及實務。台北：徐氏基金會。

## 八、噪音管制標準

<http://www.cycepb.gov.tw/table/total/%E5%99%AA%E9%9F%B3%E7%AE%A1%E5%88%B6%E6%A8%99%E6%BA%96.pdf>

九、聲音與噪音 [http://www.hlep.gov.tw/air\\_noise/download/advocacy.pdf](http://www.hlep.gov.tw/air_noise/download/advocacy.pdf)

十、振動噪音實驗室 <http://140.127.6.133/lab/>

十一、聲音 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A3%B0%E9%9F%B3>

## 備註

一、本次窗簾吸音及隔音研究中，因為窗簾固定不易，會使窗簾擺設位置有少許的差距，且環境背景音量控制不易，所以會產一些誤差值。

二、本件作品是屬於科學實驗製作方法類。

三、實驗室音源分析：聲音頻率 vs 絕對振幅，共 2048 組數據過於龐大，僅列部分數值如下方所示，詳見實驗記錄及分析手冊。

	Frequency (Hz)	Absolute Amplitude (a.u.)		Frequency (Hz)	Absolute Amplitude (a.u.)		Frequency (Hz)	Absolute Amplitude (a.u.)
	11.71875	0.44896		5976.563	6.554285		23871.09375	0.792882816
	23.4375	0.313646		5988.281	0.751091		23882.8125	0.408029537
	35.15625	0.383565		6000	4.872279		23894.53125	1.14135435
	46.875	0.665825		6011.719	1.433294		23906.25	1.361346526
	58.59375	0.603686		6023.438	3.81389		23917.96875	0.601002258
	70.3125	0.513117		6035.156	9.232577		23929.6875	1.380283128
	82.03125	0.407081		6046.875	5.095275		23941.40625	1.277769488
	93.75	0.493719		6058.594	2.256848		23953.125	0.404965381
	105.4688	0.875526		6070.313	4.130278		23964.84375	0.378672612
	117.1875	1.24384		6082.031	2.91284		23976.5625	1.220642594
	128.9063	1.691575		6093.75	2.964448		23988.28125	1.428243138
	140.625	0.644692		6105.469	0.655868		24000	0.768730735
	152.3438	1.617439		6117.188	7.936493			
	164.0625	0.931148		6128.906	4.854379			
	175.7813	1.36381		6140.625	12.38377			
	187.5	0.556253		6152.344	12.27387			
	199.2188	1.016126		6164.063	2.977055			
	210.9375	0.620461		6175.781	4.045522			
	222.6563	2.826225		6187.5	2.488892			
	234.375	3.387053		6199.219	2.775736			
	246.0938	1.374662		6210.938	4.229543			
	257.8125	1.642851		6222.656	6.826379			
	269.5313	2.255828		6234.375	6.172835			

## 【評語】 080103

實驗設計優良，變因討論詳細。題目設計能解決生活所遭遇的問題。整體而言是件有趣且實用的研究。另一方面因為完整的變數考量，造成實驗量相當的多，顯示了同學努力不懈和認真研究的精神。值得給予肯定！



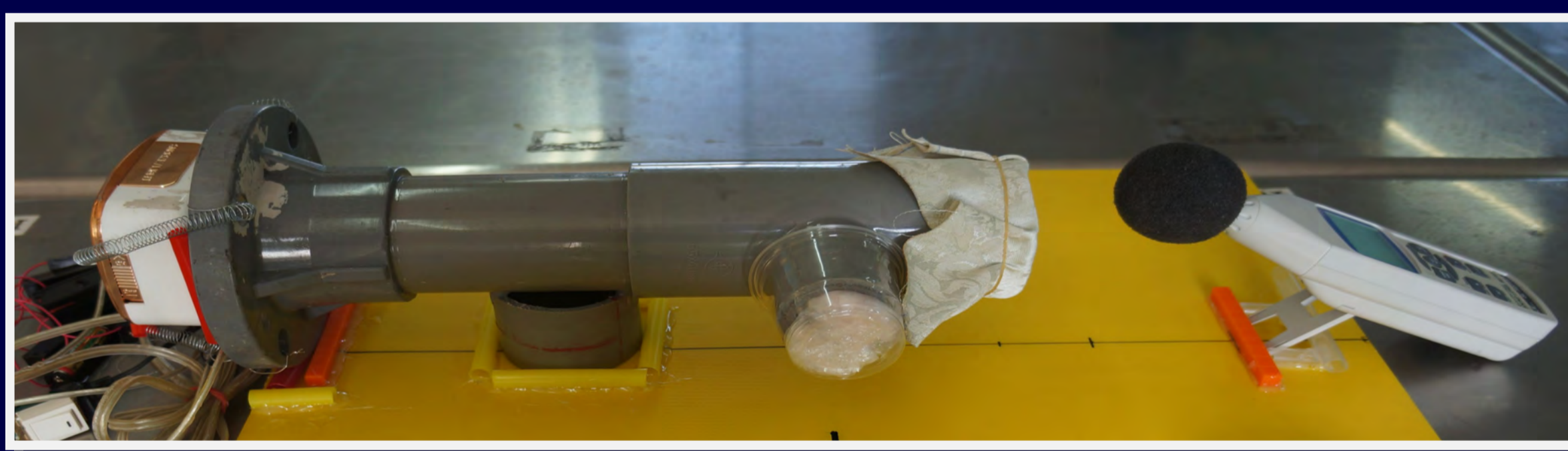
## 壹、研究動機

我們學校位置在飛機航道下方，每天飛機飛過的聲音很大聲，所以每天我們經歷了老師上課聲、飛機聲、別班上課打球聲，真得很受不了，剛好我們的自然老師有講到聲音！聽說窗簾好像可以降低音量！但真的嗎？我們只是了解到窗簾的主要功能除了遮陽外，但另外可能就是吸音及隔音了，隨著時代的進步，噪音的污染也隨之加重，校園內也不例外，所以激起了我們對窗簾吸音及隔音研究的興趣。

## 貳、研究目的

- 一、研究窗簾材質與吸音、隔音的關係。
- 二、研究窗簾材質的厚度與吸音、隔音的關係。
- 三、研究窗簾材質的孔隙面積與吸音、隔音的關係。
- 四、研究四牆面的窗簾數目與吸音、隔音的關係。
- 五、研究連續 L 式的雙牆面窗簾及對稱 H 式的雙牆面窗簾與吸音、隔音的關係。
- 六、研究窗簾的波折高度與吸音、隔音的關係。
- 七、研究窗簾的波折與波折間間距與吸音、隔音的關係。
- 八、研究窗簾到牆距離與吸音、隔音的關係。
- 九、研究窗簾分層重疊數目與吸音、隔音的關係。
- 十、研究窗簾的含水量與吸音、隔音的關係。

## 參、研究設備及器材



## 肆、研究過程與方法

【實驗一】研究不同窗簾材質與吸音、隔音的關係。

【實驗二】研究窗簾材質的厚度與吸音、隔音的關係。

【實驗三】研究窗簾材質的孔隙面積與吸音、隔音的關係。

【實驗四】研究四牆面的窗簾數目與吸音、隔音的關係。

【實驗五】研究連續 L 式的雙牆面窗簾及對稱 H 式的雙牆面窗簾與吸音、隔音的關係。

【實驗六】研究窗簾的波折高度與吸音、隔音的關係。

【實驗七】研究窗簾的波折與波折間間距與吸音、隔音的關係。

【實驗八】研究窗簾到牆距離與吸音、隔音的關係。

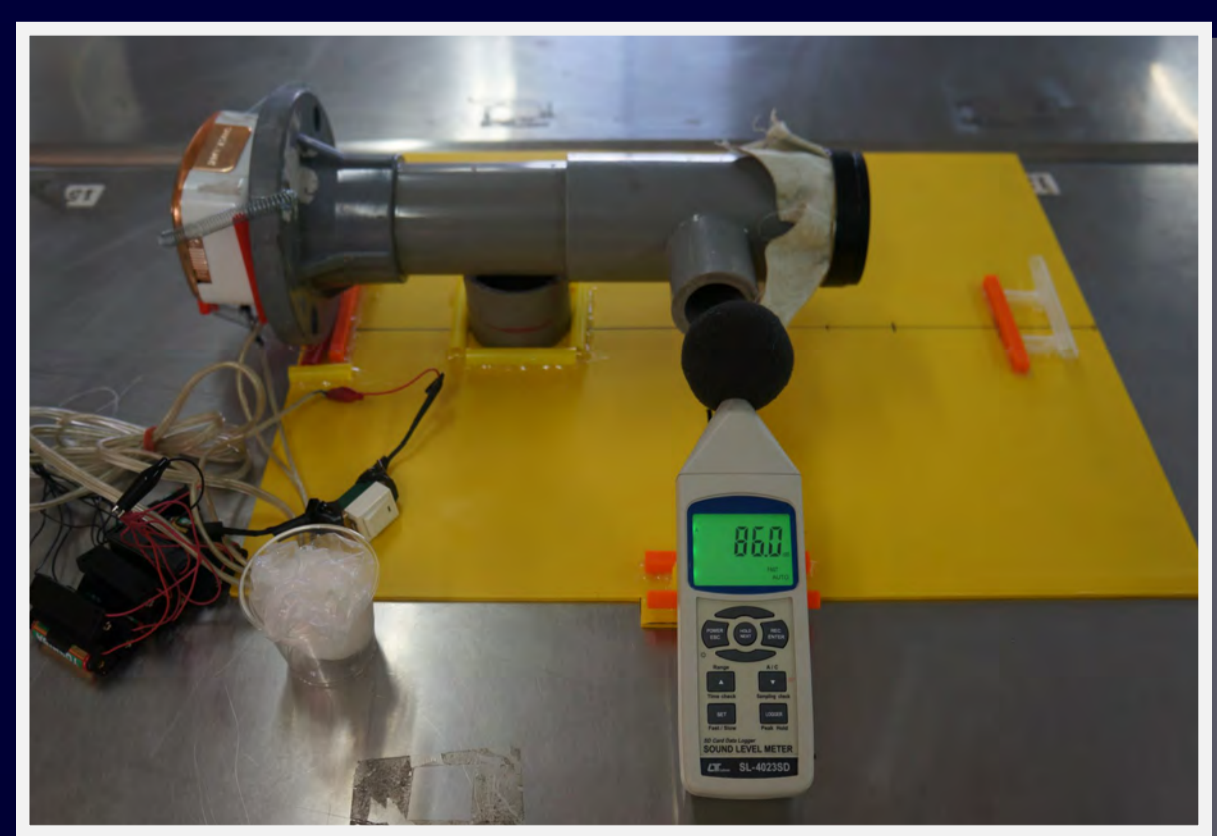
【實驗九】研究窗簾分層重疊數目與吸音、隔音的關係。

【實驗十】研究窗簾的含水量與吸音、隔音的關係。

窗簾的吸音與隔音效果之研究

分析：

- 1、不同窗簾材質-吸音及隔音效果
- 2、窗簾材質的厚度-吸音及隔音效果
- 3、窗簾材質的孔隙面積-吸音及隔音效果
- 4、四牆面的窗簾數目-吸音及隔音效果
- 5、連續 L 式的雙牆面窗簾及對稱 H 式的雙牆面窗簾-吸音及隔音效果
- 6、窗簾折痕高度因素-吸音及隔音效果
- 7、窗簾折痕間距因素-吸音及隔音效果
- 8、窗簾與牆距離因素-吸音及隔音效果
- 9、窗簾分層重疊數目-吸音及隔音效果
- 10、窗簾的含水量-吸音及隔音效果

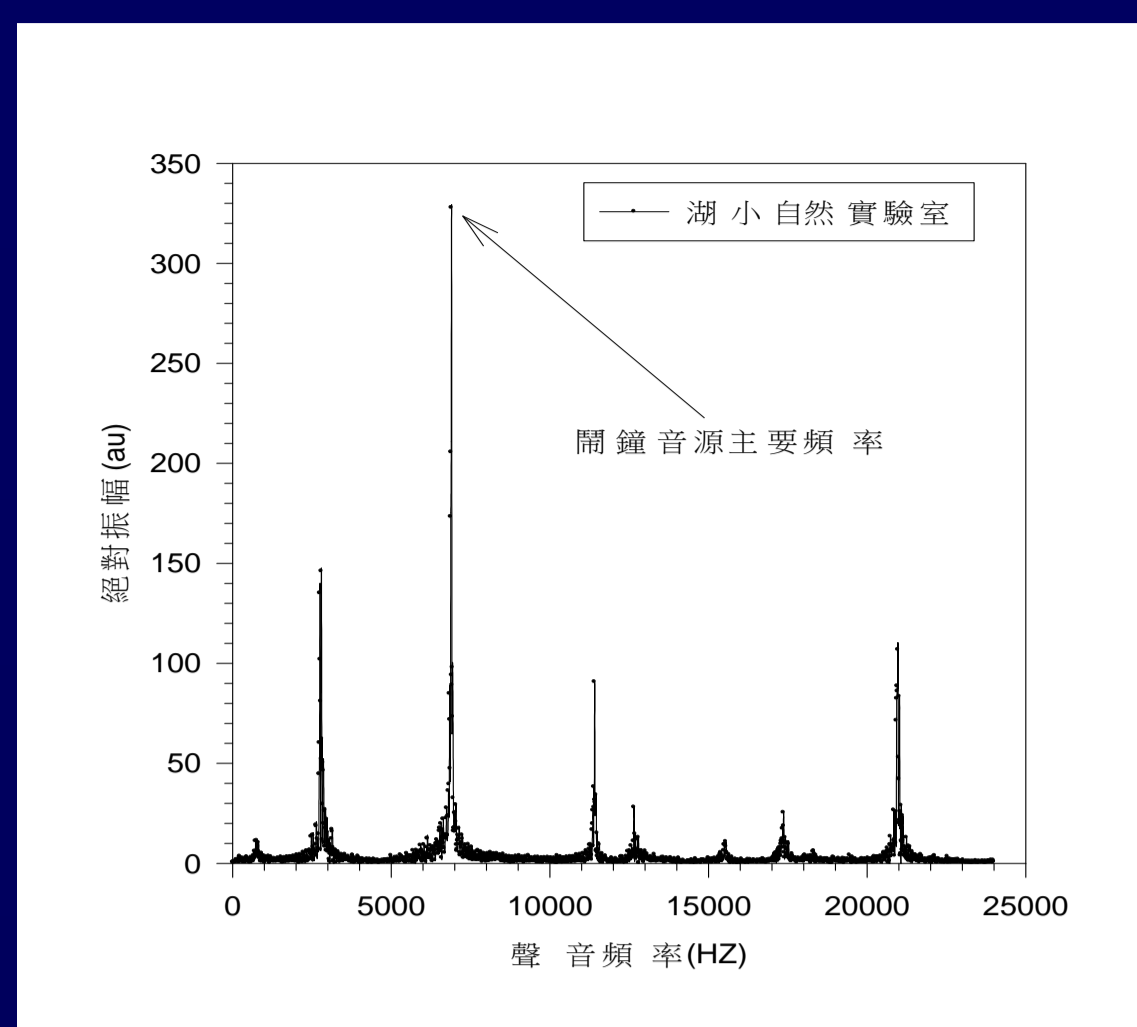
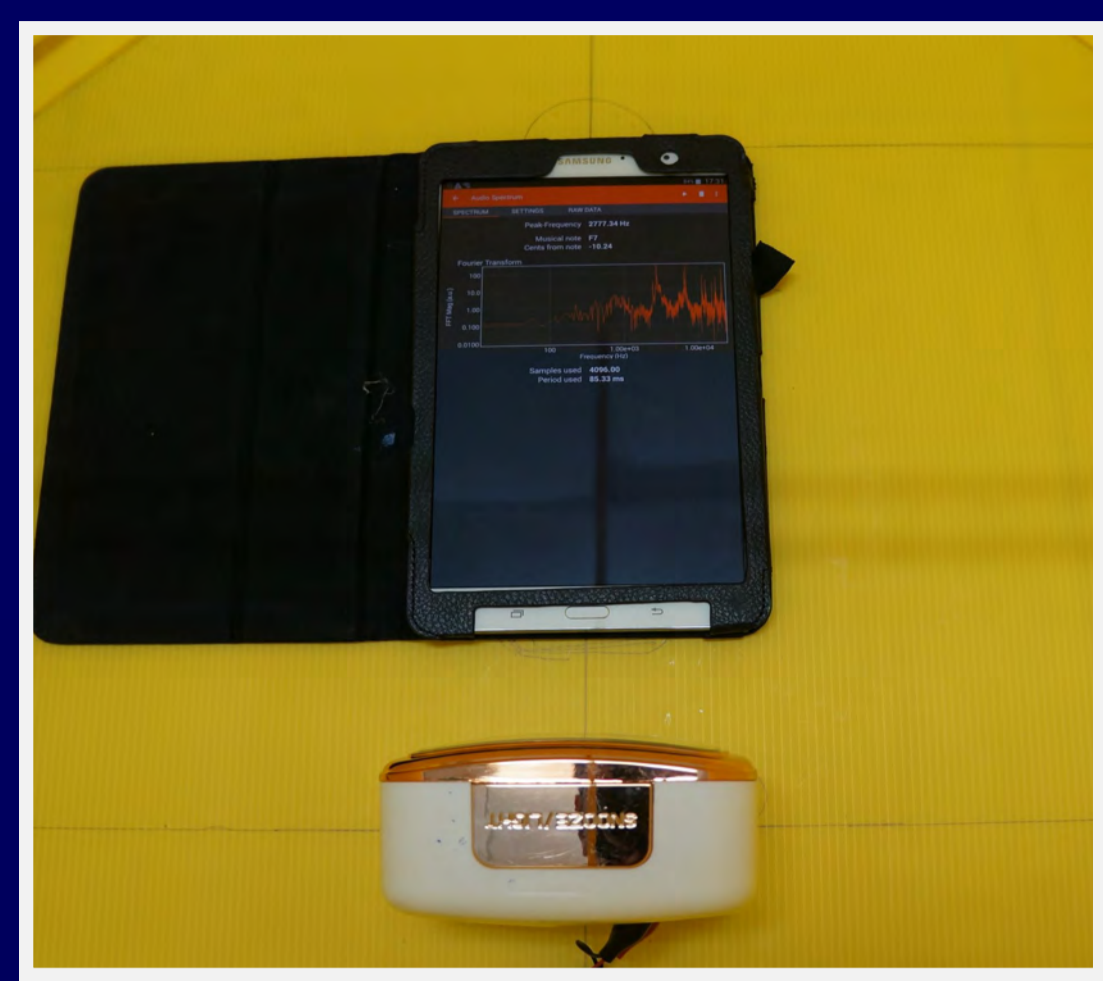


## 伍、實驗結果

實驗結果表格請參照科展說明書。

## 陸、研究討論

### 【音源分析】



#### <發現>

實驗室鬧鐘音源聲譜(音高)範圍為 12~24000HZ，其中最大頻率為 7000、3000HZ 是人耳可感覺接受到，所以可以模擬日常噪音。

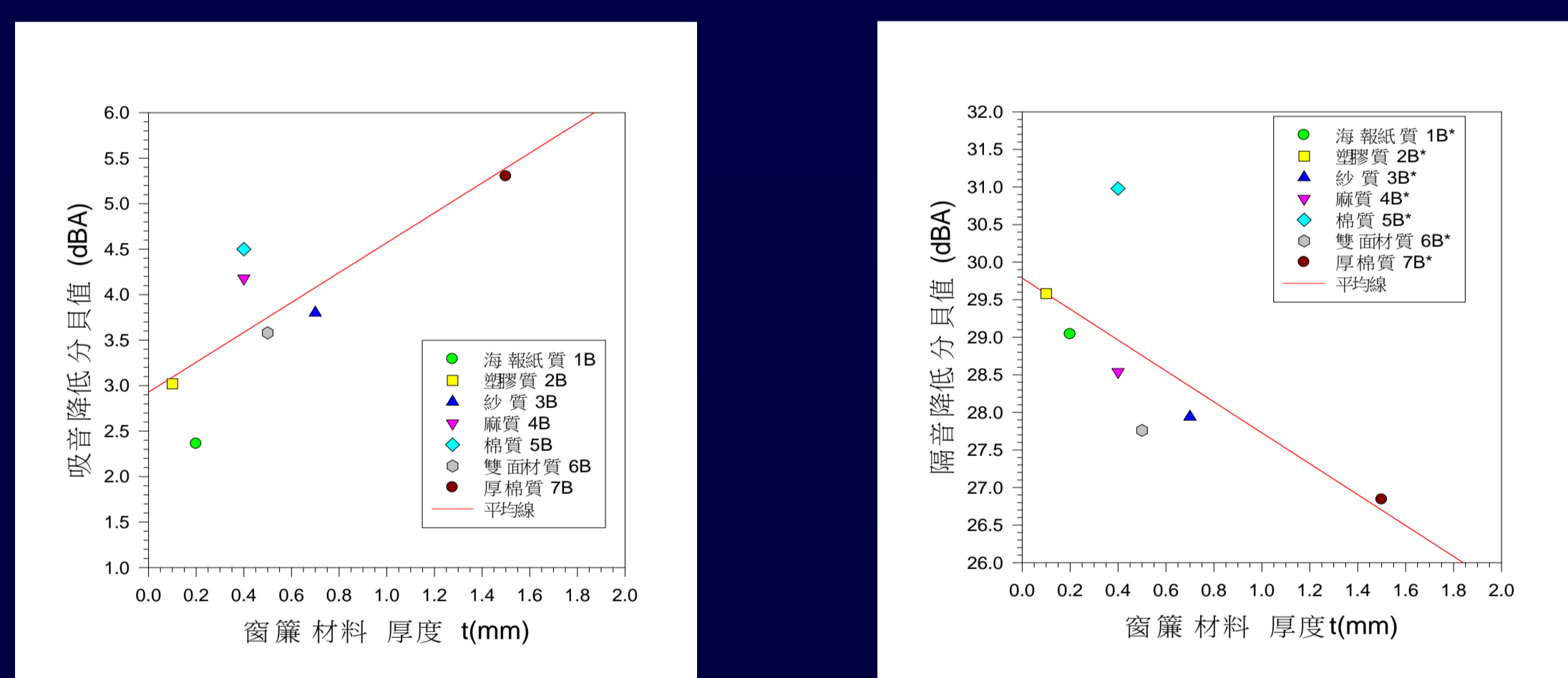
### 【實驗一】研究不同窗簾材質與吸音、隔音的關係



#### <發現>

吸音最好的窗簾材料是厚棉材質 (降低 5dBA)、隔音最好的窗簾材料是棉材質 (降低 31dBA)、吸音+隔音效果最好的窗簾材料是棉材質 (降低 35.5dBA)。平均窗簾可以吸音 3.8 dBA、隔音 28dBA，隔音效果>吸音效果。

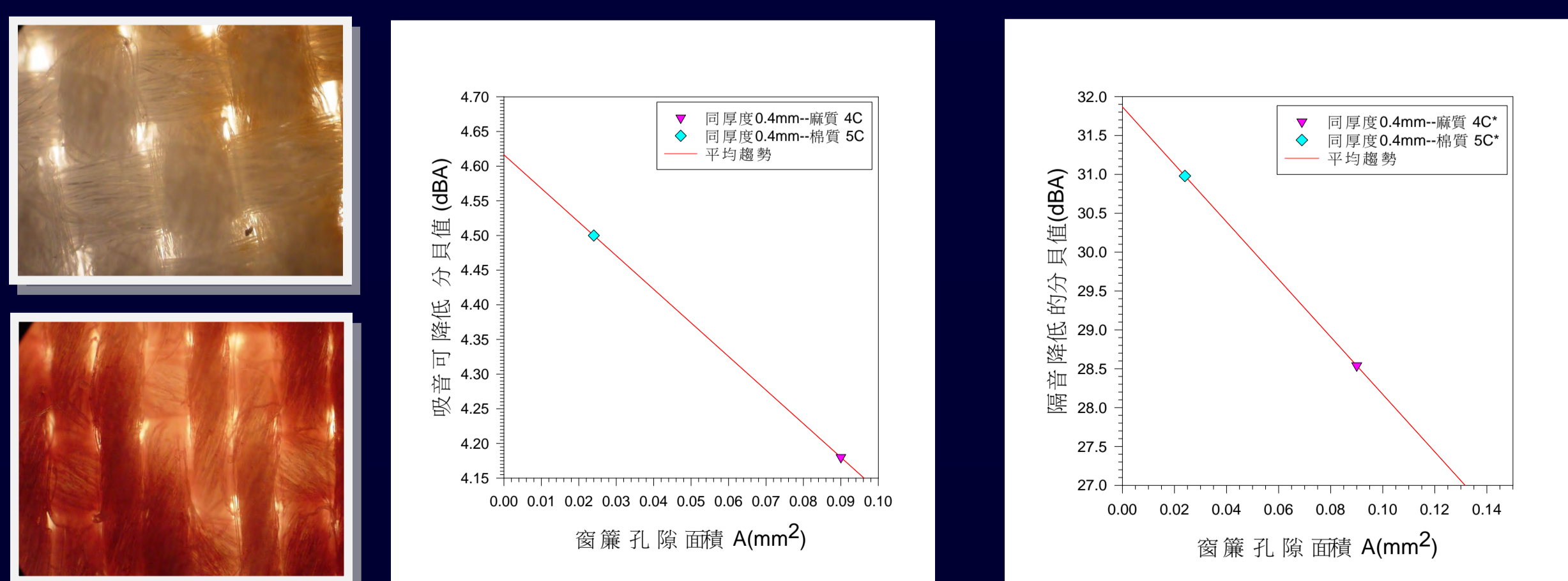
### 【實驗二】研究窗簾材質的厚度與吸音、隔音的關係



#### <發現>

窗簾材料厚度與吸音效果呈正相關性，與隔音效果呈負相關性，窗簾材質厚度的確會影響吸音及隔音效果。厚度的增加，對吸音有利，但對隔音反而不利。

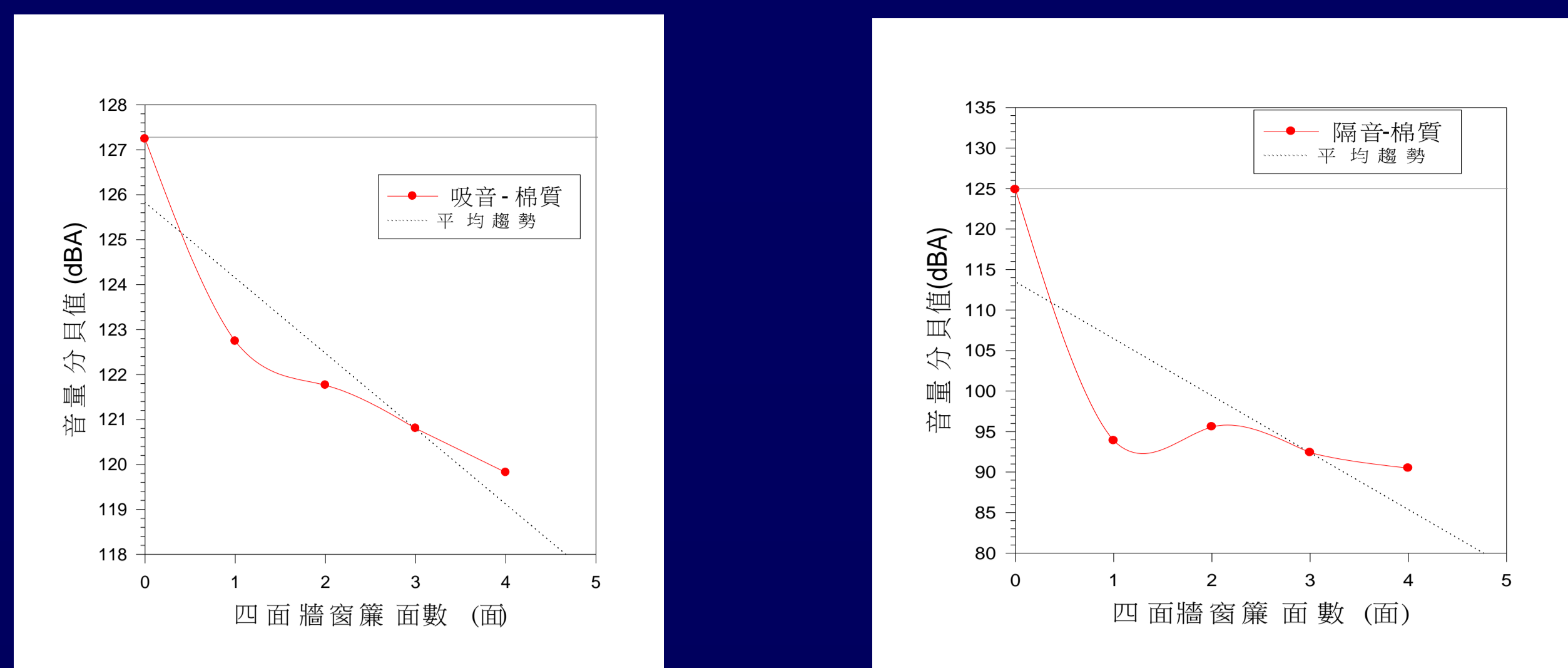
### 【實驗三】研究窗簾材質的孔隙大小與吸音、隔音的關係



#### <發現>

同厚度的窗簾材質(厚 0.4mm)的孔隙大小，會影響吸音及隔音效果，窗簾材料孔隙面積與吸音、隔音效果都呈負相關性。窗簾材料孔隙面積越小，對吸音及隔音越有利。

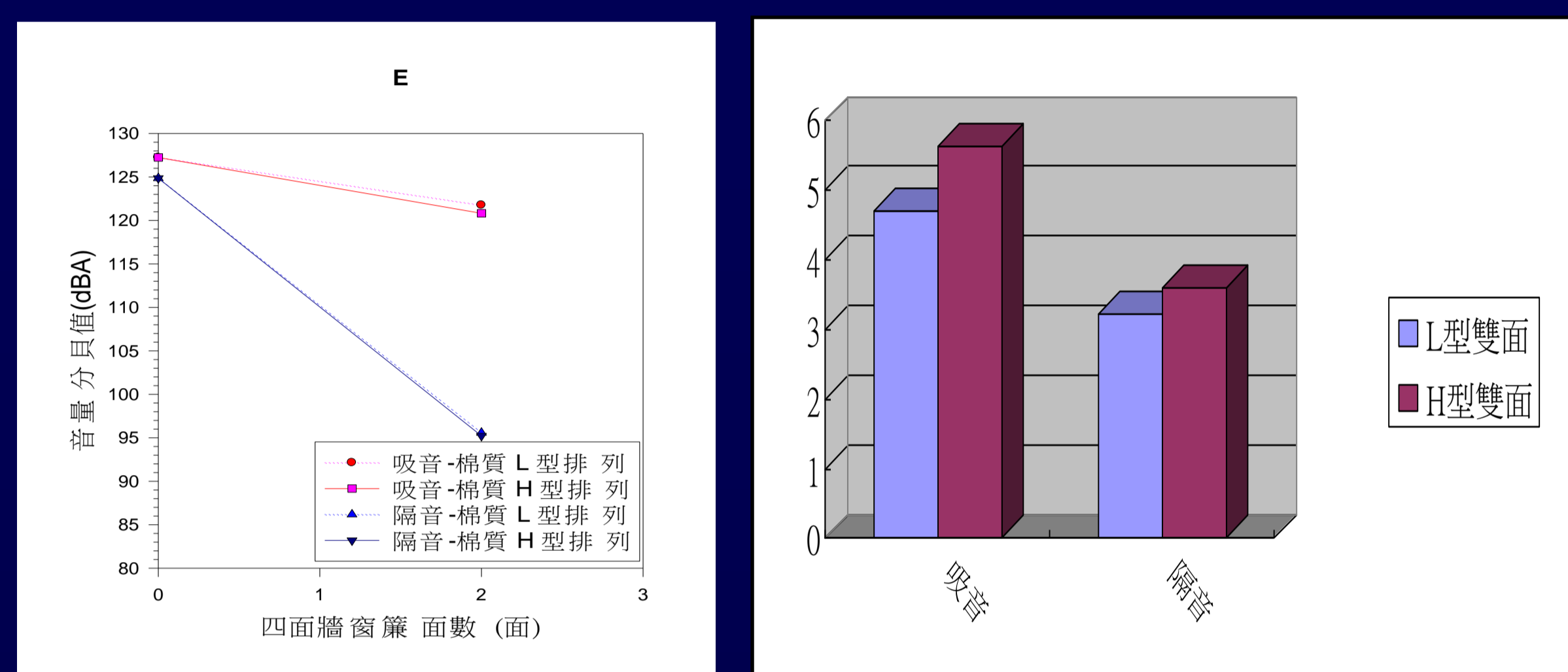
### 【實驗四】研究四牆面的窗簾數目與吸音、隔音的關係



#### <發現>

牆面窗簾數目，會影響吸音及隔音效果，窗簾面數與吸音、隔音效果都呈正相關性，窗簾數目越多，吸音及隔音效果越好。依序加入窗簾數目當中，以加入第一牆面窗簾的吸音及隔音效果改善最明顯。整體看來音量改善效果，隔音效果(減少 27%音量)>吸音效果(減少 5.8%音量)。

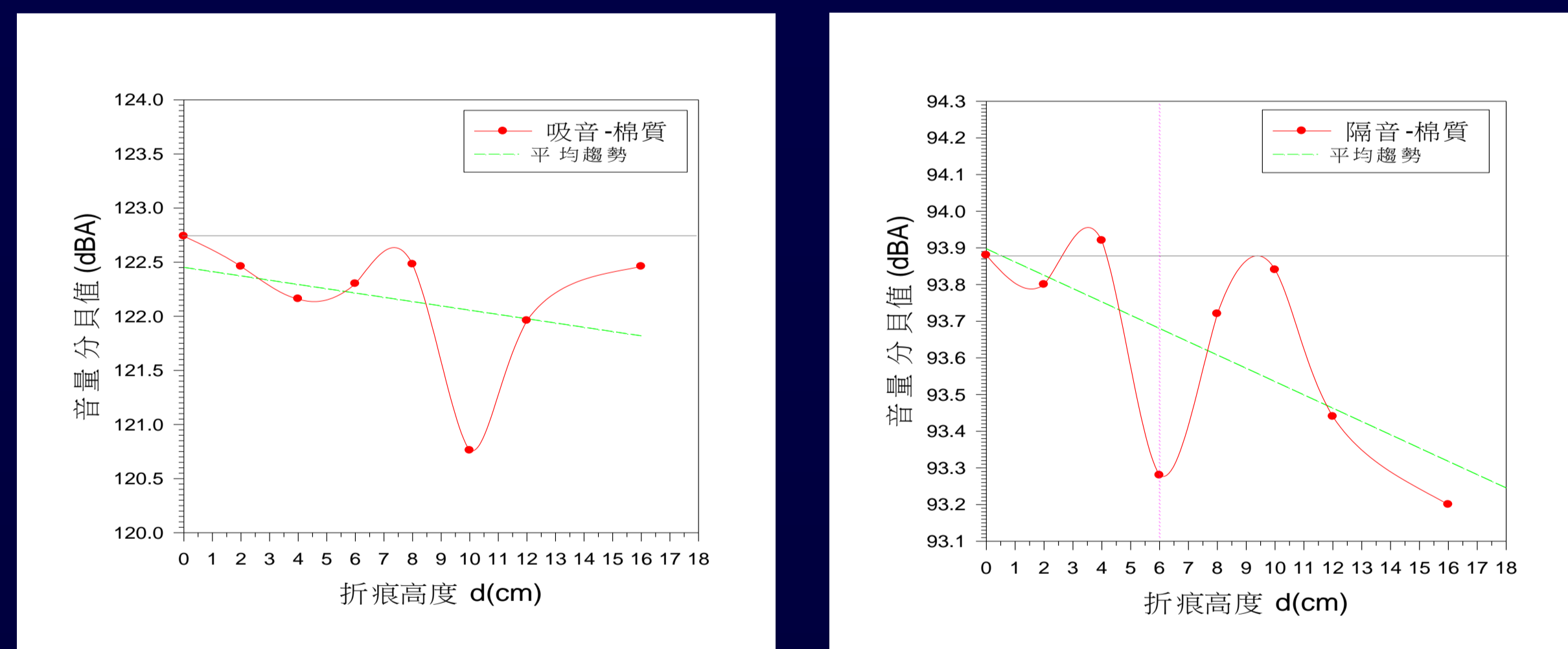
### 【實驗五】研究連續L式的雙牆面窗簾及對稱H式的雙牆面窗簾與吸音、隔音的關係



#### <發現>

吸音及隔音效果：對稱 H 式窗簾>連續 L 式窗簾，大約平均可以降低 0.9 dBA 的音量。

### 【實驗六】研究窗簾的波折高度與吸音、隔音的關係

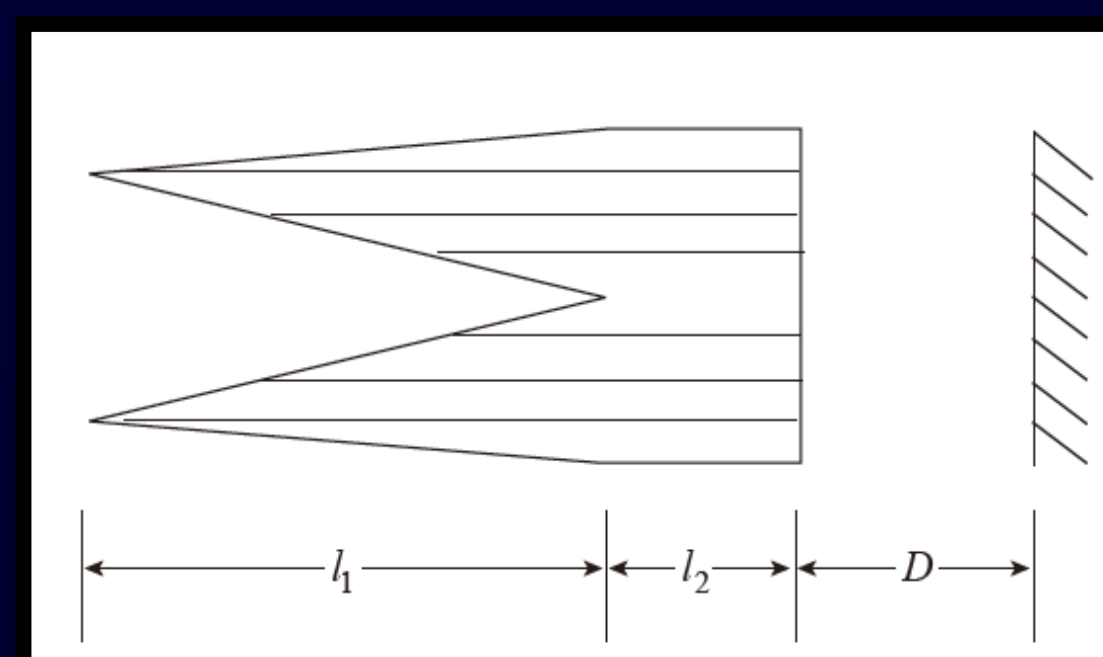


#### <發現>

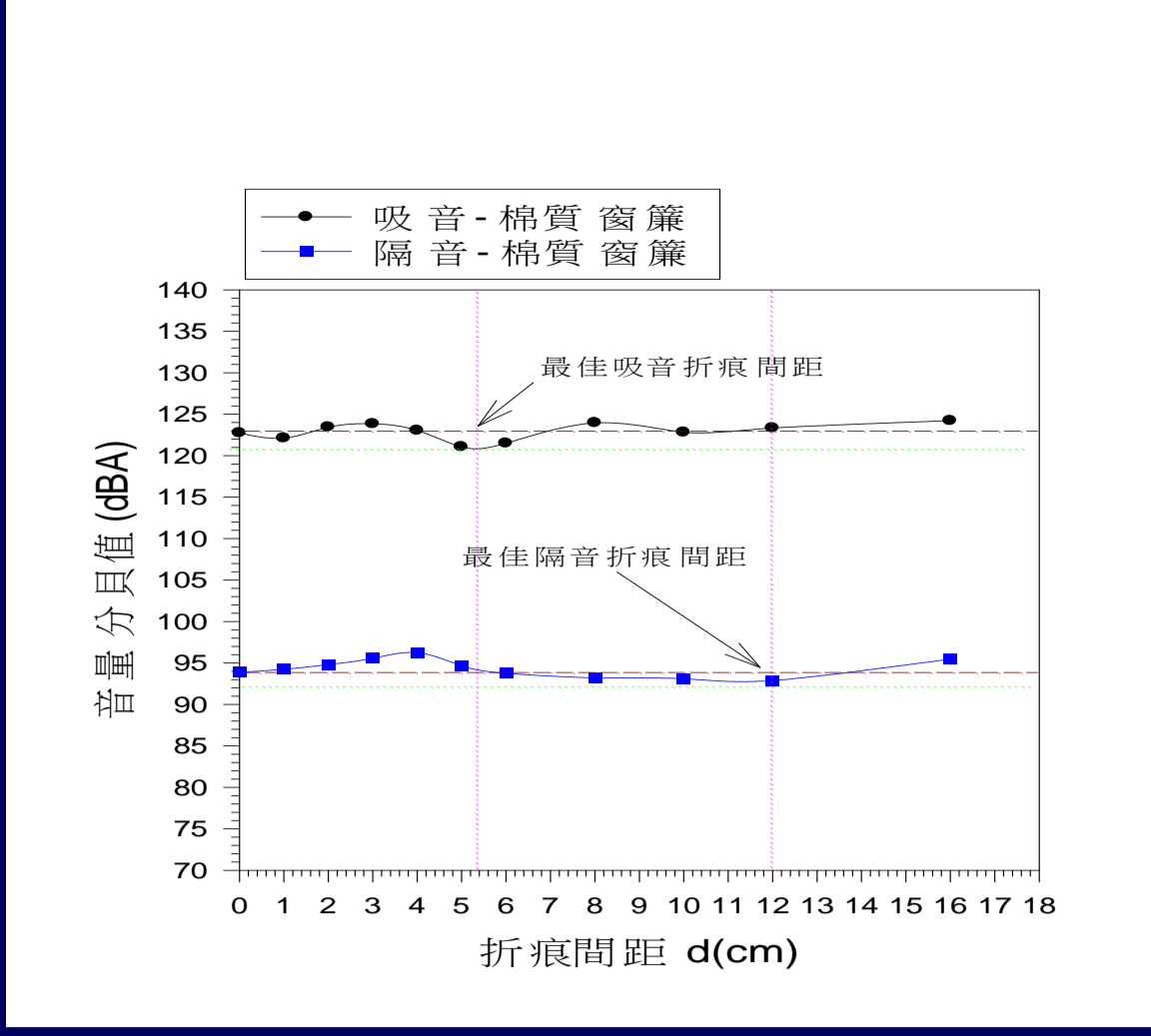
窗簾折痕高度與平均吸音、隔音效果都呈正相關性。窗簾折痕高度在 $\geq 10\text{cm}$  處有很好的吸音效果，遮音也在許可之上。

#### <探究分析>

窗簾折痕高度與平均吸音、隔音效果都呈正相關性，我們推論：窗簾折痕高度越高會形成銳角三角形，如同專業書籍提到的吸音契【一】(p329 頁：當音波端部入射時，由於吸音層的逐漸過渡，材料的音阻抗與空氣阻抗能較好的搭配，使入射音波絕大部分進入材料內部而被有效地吸收。)所以從尖端入射後，角度小音波被吸收，進而達到吸音及隔音效果。



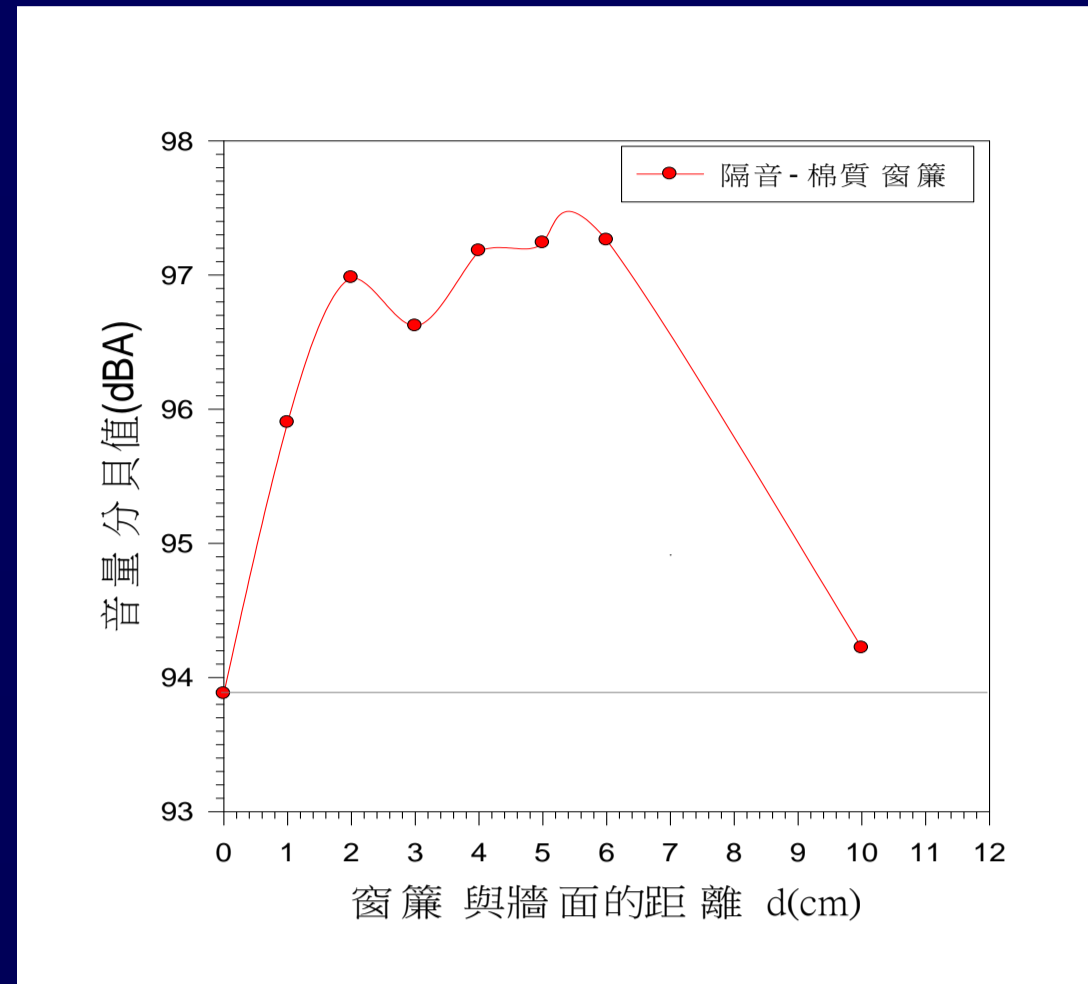
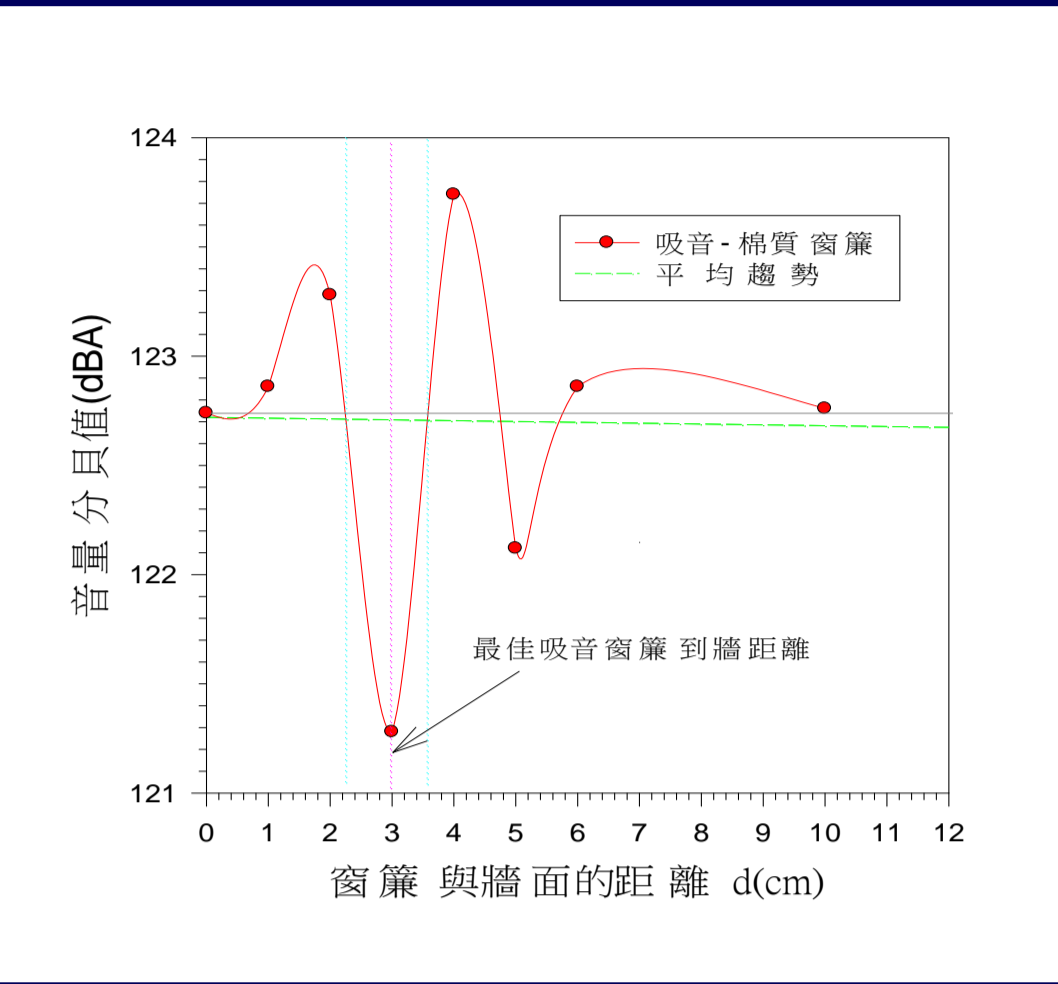
## 【實驗七】研究窗簾的波折與波折間的間距與吸音、隔音的關係



### <發現>

窗簾的折痕與折痕間距，影響吸音及隔音效果。吸音效果最佳折痕間距是 5cm，隔音效果最佳折痕間距是 12cm。吸音+隔音效果最佳折痕間距是 6 至 7cm。

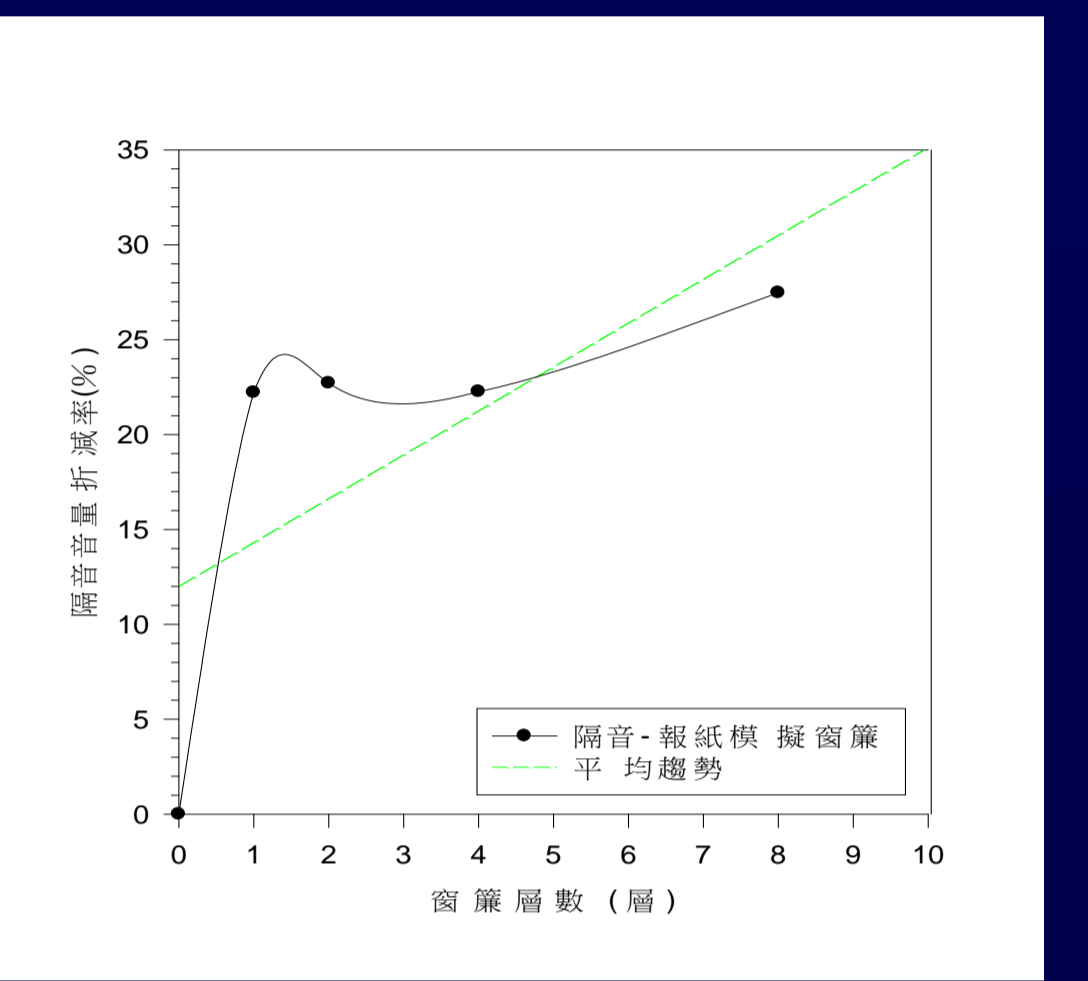
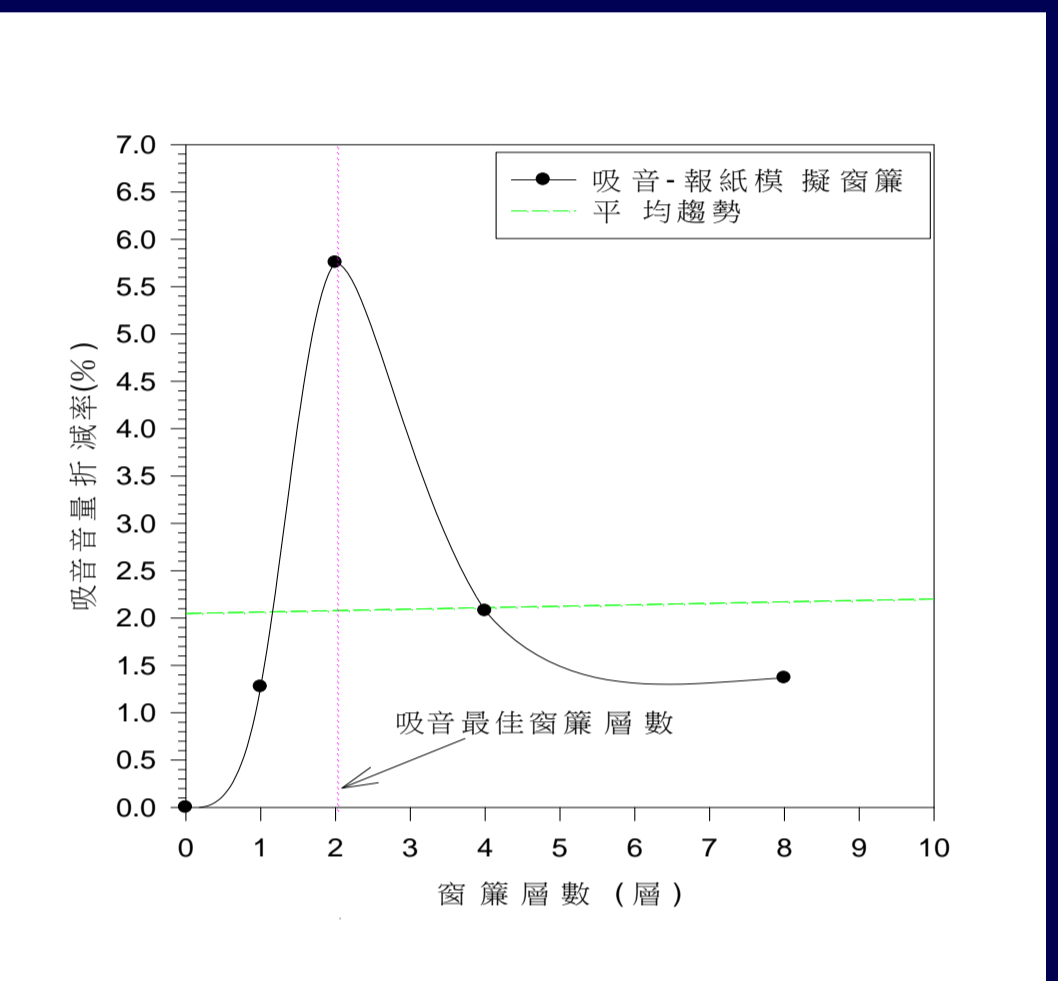
## 【實驗八】研究窗簾到牆距離與吸音、隔音的關係



### <發現>

窗簾到牆距離與平均吸音效果呈正相關性、與平均隔音效果呈負相關性。窗簾與牆的距離增加，對吸音有利，但對隔音是不利的。3cm 處為最佳吸音的窗簾與牆的距離。

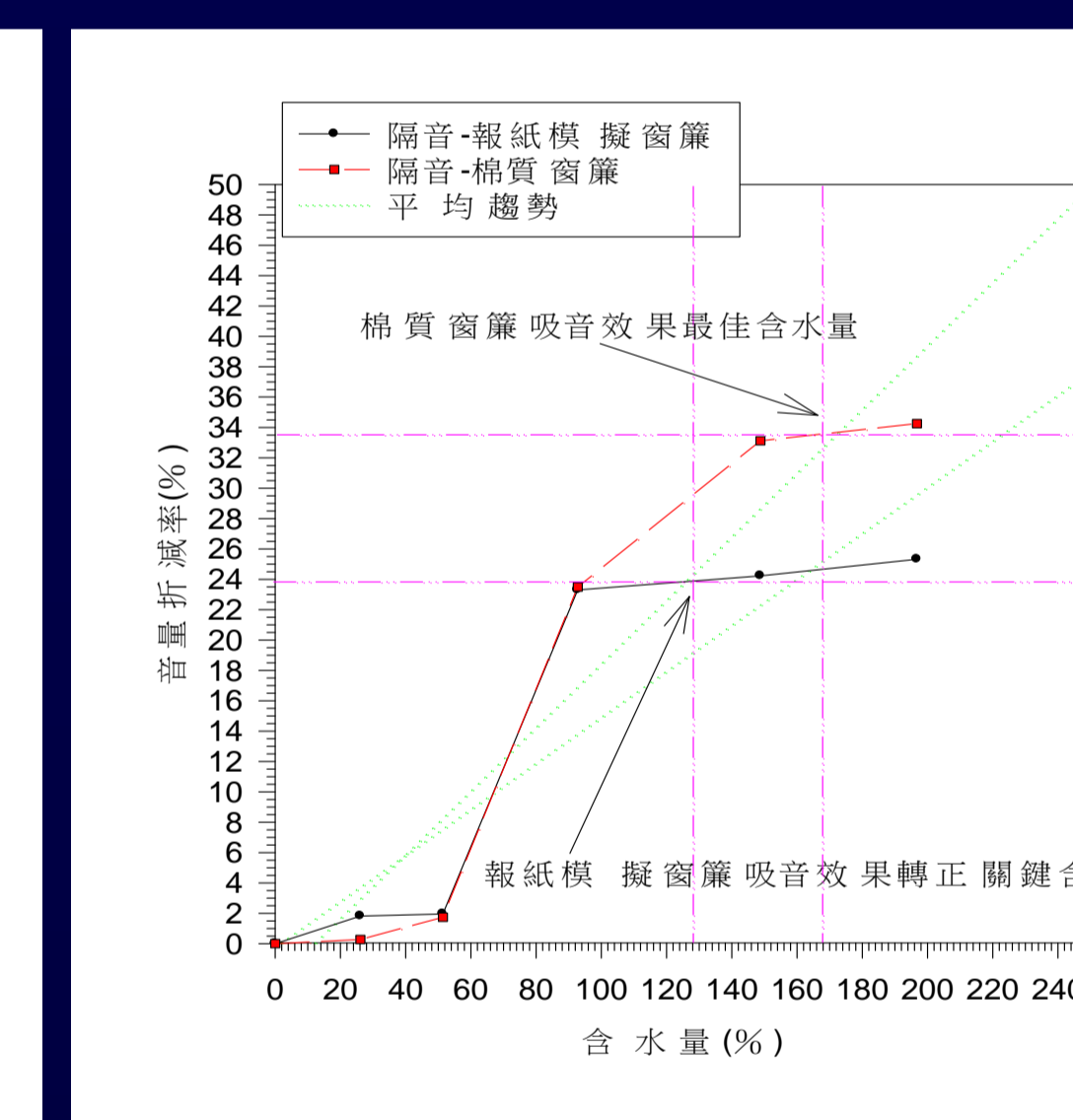
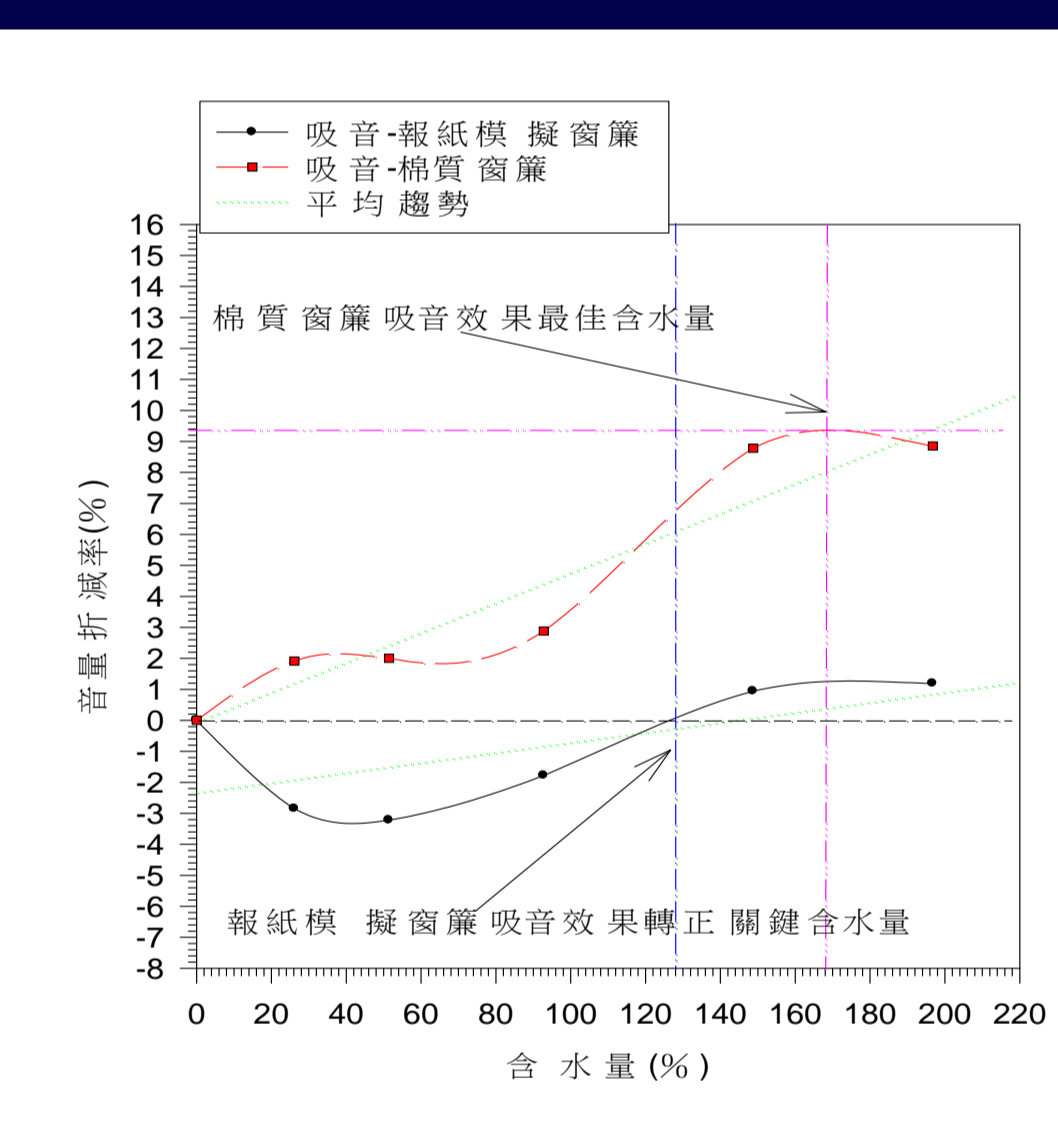
## 【實驗九】研究窗簾分層重疊數目與吸音、隔音的關係



### <發現>

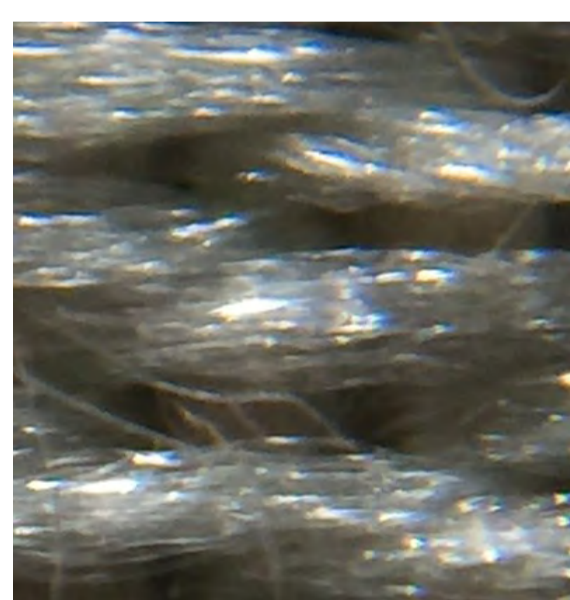
多層窗簾，就會有吸音及隔音效果，窗簾層數與平均吸音、隔音量折減率呈正相關性，其中 2 層窗簾為最佳吸音與隔音窗簾數(音量折減率吸音 5.8%=7.32 dBA、隔音 22%=28.36 dBA)，此時經濟性也最佳。

## 【實驗十】研究窗簾的含水量與吸音、隔音的關係



### <發現>

棉質及報紙質窗簾含水量與吸隔音量折減率呈正相關性，窗簾材質在高含水量時都有很好的吸音及隔音效果，棉質窗簾含水量為 168% 為最佳吸音含水量，此時吸音效果可達減音 9.4% (8.16 dBA)、隔音效果可達減音 33.5% (42.78 dBA)。



放大倍率 5\*6=30 倍

棉質窗簾 含水量 0%(低)



放大倍率 5\*6=30 倍

棉質窗簾 含水量 50%(中)



放大倍率 5\*6=30 倍

棉質窗簾 含水量 200%(高)

## 柒、結論

利用窗簾法改善教室噪音，來增加吸音及隔音效果是有效的，我們的建議是：

	窗簾材質	擺設位置	折痕高度	折痕間距	距牆	多層	含水量	合計 (dBA)
理想值	棉	四面	≥10cm	6-7cm	3cm	2 層	≥168%	最後理想值
吸音效果 (dBA)	-14.5 (34%)	-7.42 (18%)	-1.98 (5%)	-1.24 (3%)	-1.46 (3%)	-7.32 (17%)	-8.16 (20%)	-42.08 (100%)
隔音效果 (dBA)	-30.98 (22%)	-34.38 (25%)	-0.04 (<1%)	-0.12 (<1%)	-2.74 (2%)	-28.36 (20%)	-42.78 (30%)	-139.41 (100%)

或許改善噪音有著不確定因素，但我們此小小的巧思，說不定可以提供其他興趣者研究參考及發揚應用。