

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

(鄉土)教材獎

030108

聲死一瞬間-密集板 x 防疫口罩再利用 x 校園樹  
種抗噪大作戰

學校名稱：雲林縣立斗六國民中學

作者：  國一 丁歆恩	指導老師：  丁崇祺  何玉月
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：口罩、吸音孔、聲音頻率

## 摘要：

為改善環境噪音(多在 80~160 Hz 中低頻),探討裝潢用密集板在開放環境中對噪音改善的效果。近年因 COVID-19 防疫,產生大量用過但環境無法消化的口罩垃圾,因此想善用廢棄口罩加入密集板,探討多層結構,並比較校內樹種對中低頻的吸音效果。

實驗顯示,密集板內孔距 4 mm、孔徑 5 mm、孔深 15 mm 及厚度 15 mm 時,對 100 Hz 頻段的吸音效果最佳。最佳孔深若取板厚深度會造成穿透,讓密集板不易清理,故採孔深 3.75 mm,效果次之。加上口罩材質作夾層,嵌入吸音孔內,內層複合不織布面向音源,音量動態變化率多增加 55.5 dB/s。另,發現植栽中二葉松吸收中低頻噪音效果最佳,樟樹、茄冬與榕樹次之。

## 壹、前言

### 一、研究動機與目的

因台南捷運即將動工,住在台南的奶奶、大伯不免擔心捷運營運後產生的噪音問題。故以室內裝潢常用的密集板作為吸音板材,是否能有效防患環境中的中低頻噪音是我們所關注的議題。另因近兩年多來 COVID-19 防疫,不僅防疫口罩生產過量,更會產生出大量用過但環保無法降解消化的口罩垃圾,因此我們發想是否能善用廢棄口罩,加入密集板的吸音結構中,以探討多層結構對中低頻聲響的吸音效果。同時也想了解學校內外哪些樹種對噪音的吸收度比較好。故此報告針對裝潢常用之密集板在開放性環境中對中頻段音響的吸音程度與噪音改善效果,主要探討下列三項變因:

1. 密集板孔洞之物理量的變化,如孔洞大小、深度、孔距以及板材厚度對吸音的影響。
2. 以口罩材料作為密集板夾層,分析其吸音改善程度,以及應用。
3. 校園不同樹種的吸音效果比較。

## 二、實驗原理：

### 1. 聲音傳播：

當波動傳播時，若傳播方向與介質振動方向垂直，稱為橫波(transverse wave)；而傳播方向與介質振動方向平行，則稱為縱波(longitudinal wave)。聲波因進行方向與介質振盪方向相同，故屬於縱波。聲波通常透過空氣來傳播，空氣中的粒子會隨波的振動，產生密度變化的壓縮區及稀薄區，所以亦即疏密波。而其波長的定義與橫波和縱波相同，相位相同之相鄰兩點間的距離等於相鄰兩壓縮區之間或稀薄區之間的距離。橫波的振幅乃空氣粒子偏離平衡位置的最大位移；而聲波的振幅則取決聲音強度。每秒產生的波數稱為頻率，即波源每秒的振動數。樂音頻率可分為 20 Hz~40 Hz 為極低頻，40 Hz~80 Hz 低頻，80 Hz~160 Hz 中低頻，160 Hz~1280 Hz 中頻，1280 Hz~3560 Hz 中高頻，2560 Hz~5120 Hz 高頻，5120 Hz~20000 Hz 極高頻等七個波段 (每日頭條-文化, 2019)，生活中比較常接觸的是中低到中高頻範圍，所以本實驗以這個範圍來做探討。

### 2. 聲音衰減：

聲音源於物體產生的振動，然後引起鄰近空氣分子隨之振動而形成聲波，並透過空氣介質中向四周傳播。當聲音傳入材料表面時，一部分聲音會被反射，一部分會穿透材料，還有一部分因材料振動或聲音在其中傳播時與周圍介質摩擦，使得部分聲能轉化成熱能，以致聲能被損耗，此即聲音被材料吸收的原因之一。

### 3. 口罩的材質：

本實驗也發想利用口罩結合密集板，以期降低環境噪音，所以我們使用縣府所提供的醫療口罩進行實驗。一般常用的醫療口罩是由下列三層材料所組成：

最外層：聚丙烯紡黏不織布，用以阻隔飛沫

中間層：聚丙烯熔噴不織布，為靜電過濾層，用以過濾細菌與病毒

最內層：ES 複合纖維(PP+PE)不織布，作為吸水材質



圖 1 醫療口罩內的三層材料

我們會先探討各種樣式的密集板的吸音效果；再將口罩嵌入具最佳吸音效果的密集板中，探討口罩不同的排列方式對吸音效果的影響。

**表1** 口罩內外層材質介紹 (戴崇峰, 2020)

材質	材料說明與功能介紹
紡黏 不織布 (最外層)	又稱無紡布，屬非織造布。透過高分子成網技術的紡黏法，將原料透過押出設備熔融自噴嘴擠出，經風道設計形成超細纖維，吹向收集網堆積成網狀結構。此技術製程短、產量高、成本低且變化快、原料來源廣，可因應終端市場의各種用途。
熔噴 不織布 (中間層)	以聚丙烯(PP)為主要原料，透過高速熱風分散熔塑料，再將聚合物熔體通過超細噴嘴的噴絲板紡出。熔噴不織布擁有比其他材料更細的纖維，超細纖維網狀結構可增加單位面積纖維的數量和表面積。
複合纖維 不織布 (最內層)	是一種布面光滑不易起毛絲且具有親水性的不織布，親水性的特性可將配戴口罩呼吸說話時所產生的水氣，以及臉部的油脂汗水吸附，並拓暈開來，不會凝結成水珠狀造成配戴時的不適感。

## 貳、研究器材與材料

本實驗中使用了下列器材與套裝軟體：

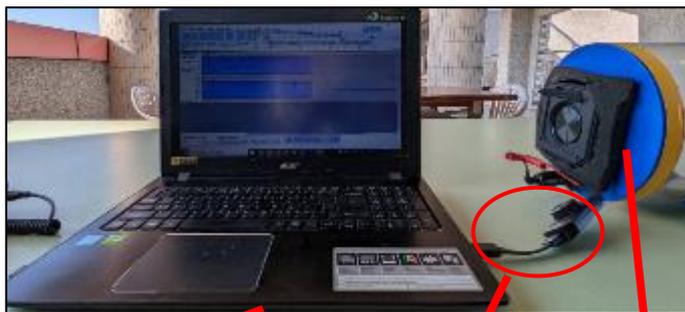
1. 利用 3D 列印機製作音波反射封閉管。



為方便更換材料，故另一側的開口要足夠大到能讓手放入孔內

手機利用 Physics Toolbox Sensor Suite 紀錄聲響的實際分貝

底部以 3D 列印機製作吸音桶架，以減少聲能傳往桌面的部分



筆記型電腦以 Audacity 套件軟體紀錄並分析音量的變化

聲音擷取卡 (USB)



以泡棉包覆藍芽喇叭與定向麥克風，再嵌入具有方洞的圓盤內



以此方向嵌入吸音板蓋子



指向性麥克風



將吸音板材嵌入空心圓桶



測量溫、濕度

2. 材料：密集板(利用雷射機裁切尺寸)、醫療口罩



每次的實驗我們都有記錄當下的溫度與濕度，但因溫溼度對音量沒有太大的影響，因此在作品說明書後續內容就不表列

3. 分析聲音的套裝軟體：Audacity

4. 雷射機切割製作程式：RDWORKS、LASERCAD、AUTOLASER

# 叁、研究過程與結果

## 一、研究架構：

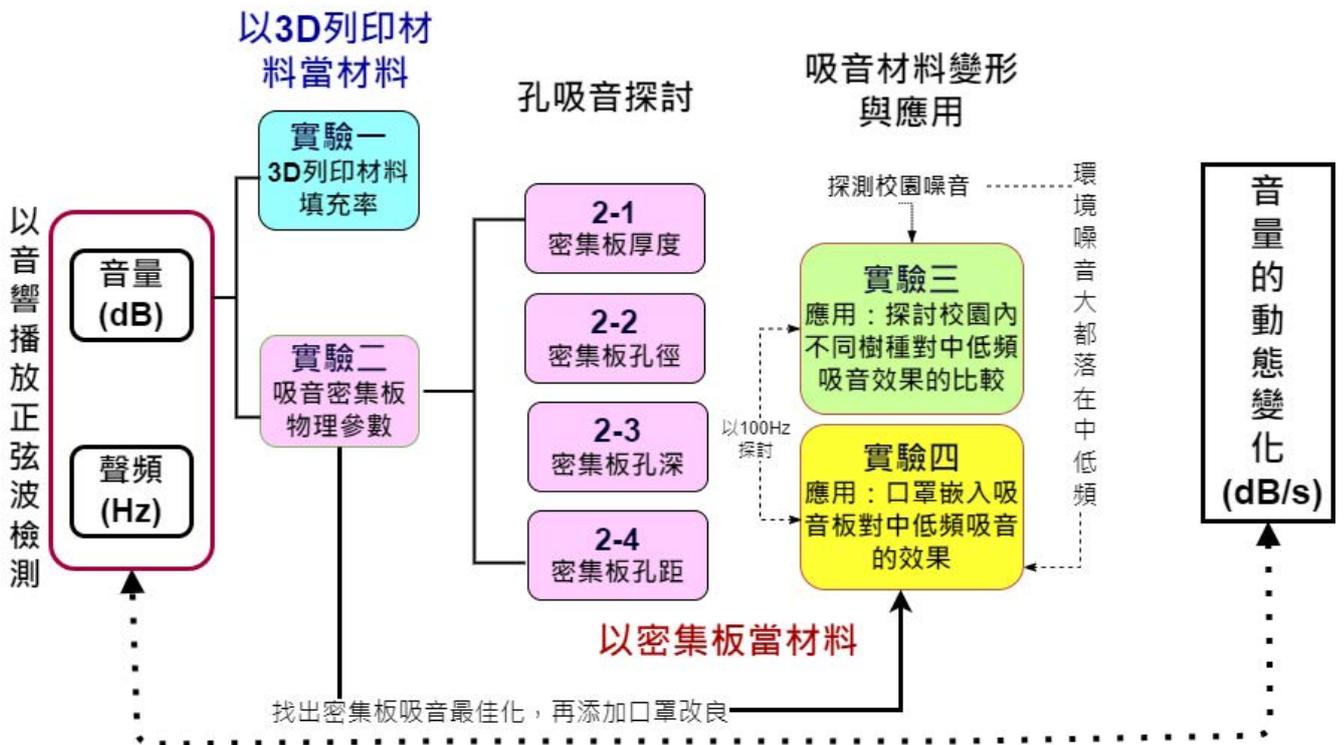


圖2 研究架構圖

## 二、研究方法與實驗分析：

### 1. 實驗準備：音量換算

因Audacity所分析的分貝數值與一般分貝計不同，故需要做校正轉換。當藍芽喇叭分別在100, 500, 1000, 1500以及2000 Hz等五個聲頻下，發生六個不同音量時，同步以Audacity錄音，測量不同長度之吸音管(壓克力管)內的音量，利用兩種資料交互比較推導出換算的函數。當吸音管管長為20 cm和40 cm時，喇叭發出的聲頻分別在100, 500, 1000, 1500, 2000 Hz時，運用Audacity測量分析所得之音量的分貝值與一般分貝計所測得之音量的關係對照圖，請分別參見下頁圖3和圖4的結果。

(1) 吸音管管長20 cm :

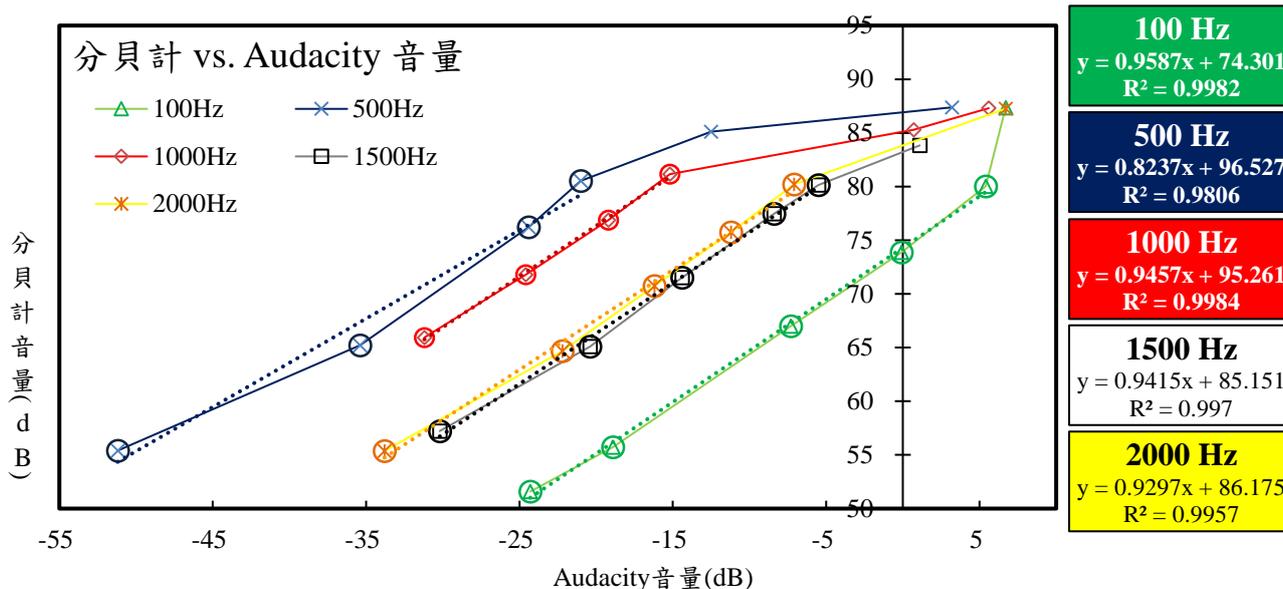


圖3 取吸音管管長為20 cm，當喇叭發出的聲頻分別在100, 500, 1000, 1500, 2000 Hz時，運用 Audacity測量分析所得之音量的分貝值與一般分貝計所測得之音量的關係對照圖。

(2) 吸音管管長40 cm :

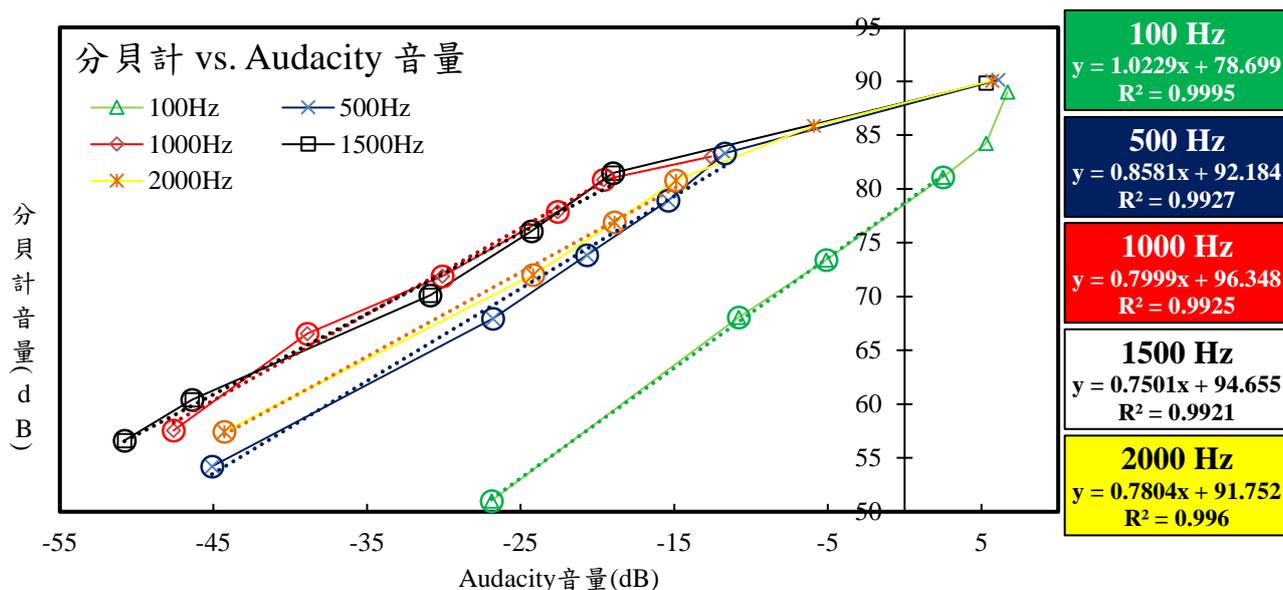


圖4 吸音管管長40 cm，當喇叭發出的聲頻分別在100, 500, 1000, 1500, 2000 Hz時，運用 Audacity測量分析所得之音量的分貝值與一般分貝計所測得之音量的關係對照圖。

對於短的吸音管(管長為 20 cm)，喇叭音量固定，音頻分別取 500 Hz~1000 Hz 時，圖 3 的實驗結果顯示：若音量太大時，則分貝計紀錄得到的音量，與 Audacity 分析所得結果會有明顯的差異。綜合所有頻率結果可以發現在音量高過 80 分貝時，Audacity 所紀錄的音量與分貝計顯示數值會偏移線性關係，判斷原因主要是在於麥克風與分貝計兩者在高音量所能接受的功率不同導致。

對於較長的吸音管，如 40 cm 管長者，根據圖 4 的實驗結果，可見在 80 分貝以下分貝計的數值與電腦錄音所記錄的音檔，兩者的音量仍具有線性關係；高音量時的差異也小了些。另外，後續也在實驗一中發現，40 cm 長管的吸音管不易分析。所以之後實驗選擇會採用短管的吸音管，並以 80 分貝的音量下進行實驗。

## 2. 修正分析方法：

一開始分析的方法是以停止聲音位置往後判斷吸音停止的時間(如圖 5)。這種方法在於是以人為判斷聲音結束點，播放停止點很容易確定，但聲音結束的位置卻是由人為決定，故在測量上很容易造成誤差，所以改為利用計算聲音停止點前後時間內的平均音量，再計算單位時間內的音量動態變化率。

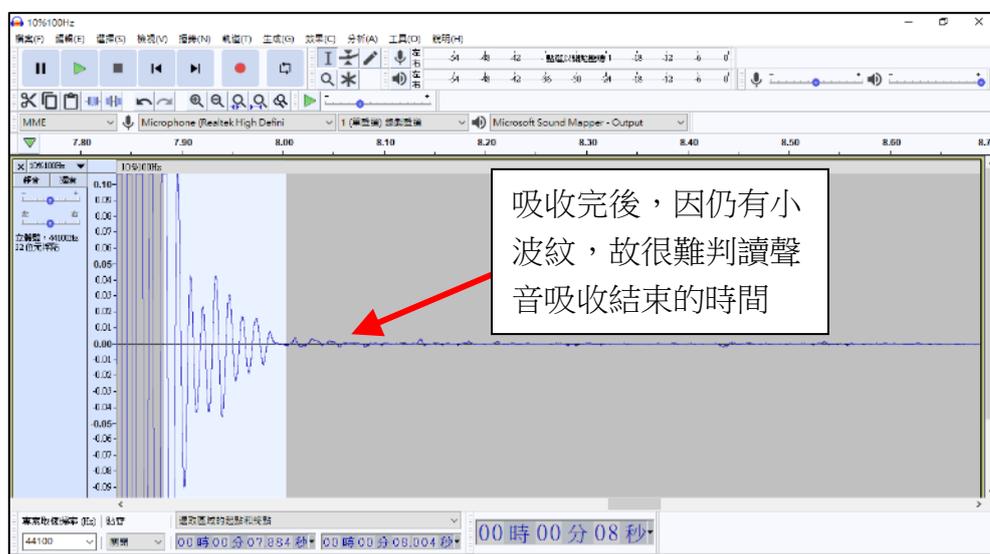


圖 5 人為判斷聲音吸收的停止點

所以接下來的實驗會先找出聲音停止點，即以振幅開始變小為停止點(如下頁圖6)，再以停止點往前後分析平均音量計算音量動態變化率。為求每次實驗數據判讀具一致性，我們必須將分析的時間縮短，讓音量動態變化率接近瞬時變化。但Audacity需要足夠的時間才能分析頻譜，所以以最小時間間距0.05秒，聲音停止點往前與往後分析前後0.05秒內的平均音量，再除以兩者時間差0.05秒來計算音量動態變化率。

$$\text{音量動態變化率計算} = \frac{(\text{聲音停止前}0.05\text{秒平均音量} - \text{停止後}0.05\text{秒平均音量})}{0.05\text{秒}}$$

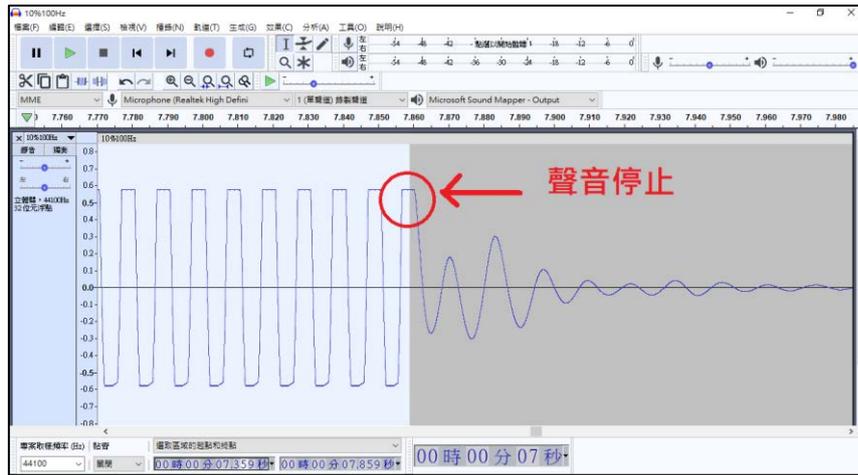


圖 6 聲音停止點示意圖

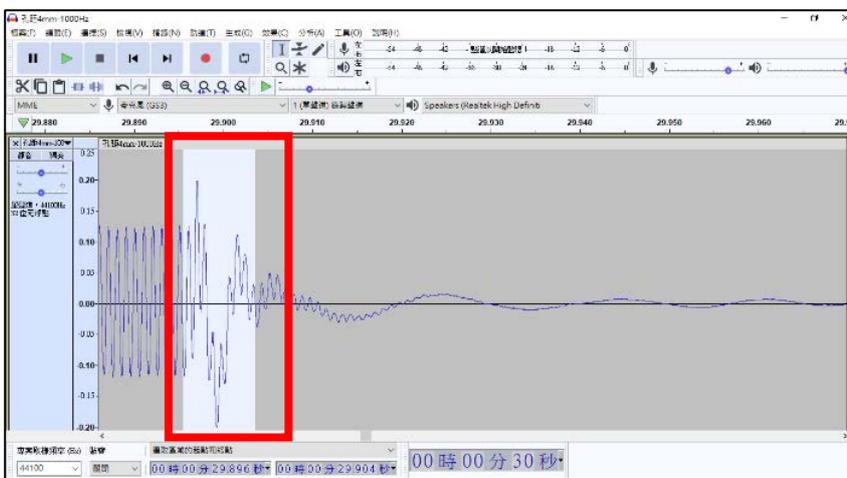


圖 7 聲音結尾的音爆現象

使用單頻的錄音檔播放時，聲音結束會產生音爆的現象。

後來發現若是利用人為手動來停止音檔，就可以改善這種情形。因此每次實驗都必須重新執行程式。

### 3. 研究方法與實驗結果：

#### 實驗一：3D列印材料填充率對吸音效果的影響

##### 研究方法：

1. 利用Audacity分別做出100, 500, 1000, 1500與2000 Hz聲音的正弦波音軌各5秒。
2. 利用3D列印出不同填充率的圓板，分別為10%, 30%與50%三種。先使用10%填充率圓板進行實驗。



圖 8 不同填充率圓板在 3D 列印下的填充方式

3. 以溫濕度計記錄當下的氣溫與濕度，並利用聲速公式計算當下的聲速與波長。
4. 將吸音板材料周圍包覆絕緣膠帶使其緊密嵌入吸音桶內，再用膠帶將接縫處纏繞封緊。
5. 將手機與藍芽喇叭連結，同時以Audacity錄音，等待數秒後播放音軌。
6. 播放等待數秒後手動結束錄音，重複數次(n=10)做紀錄。再利用Audacity分析吸音時間與音量(dB)變化。
7. 分別以其他填充率重複步驟3至6。

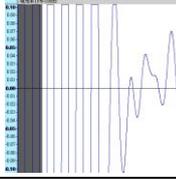
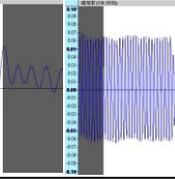
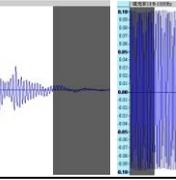
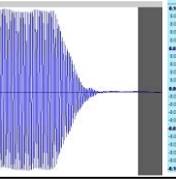
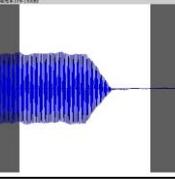
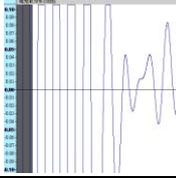
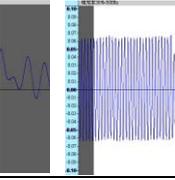
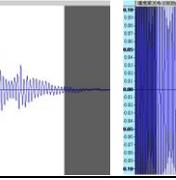
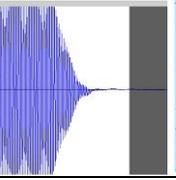
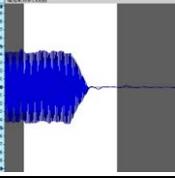
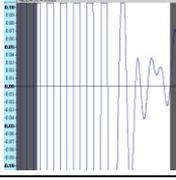
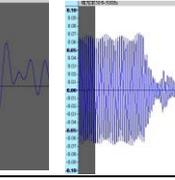
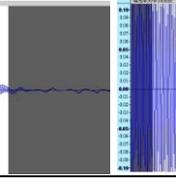
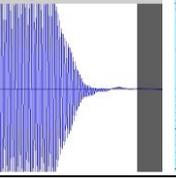
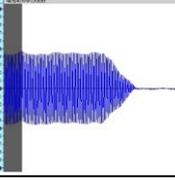
註：桶身分別以20 cm短管與40 cm長管做檢測

### 實驗結果：

一開始使用兩種不同長度的壓克力管觀察實驗結果：

#### 短管(20 cm)：

表2 改變3D列印材料填充率在不同頻率下吸音的狀態

填充率	頻率	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	1500 Hz	2000 Hz
10%	吸音音 波圖					
	音量變 化率	356.34 dB/s	230.68 dB/s	255.62 dB/s	235.98 dB/s	294.56 dB/s
30%	吸音音 波圖					
	音量變 化率	335.40 dB/s	221.70 dB/s	252.66 dB/s	235.40 dB/s	273.10 dB/s
50%	吸音音 波圖					
	音量變 化率	338.52 dB/s	228.36 dB/s	254.78 dB/s	231.32 dB/s	278.80 dB/s

### 長管(40 cm)：

發現長管在1000 Hz時無法判讀音量變化情形。推測長管的共振頻率可能在這附近。有些數據，聲音結束後音量反而增加，更有些反射音混亂到無法判斷(如圖9)：

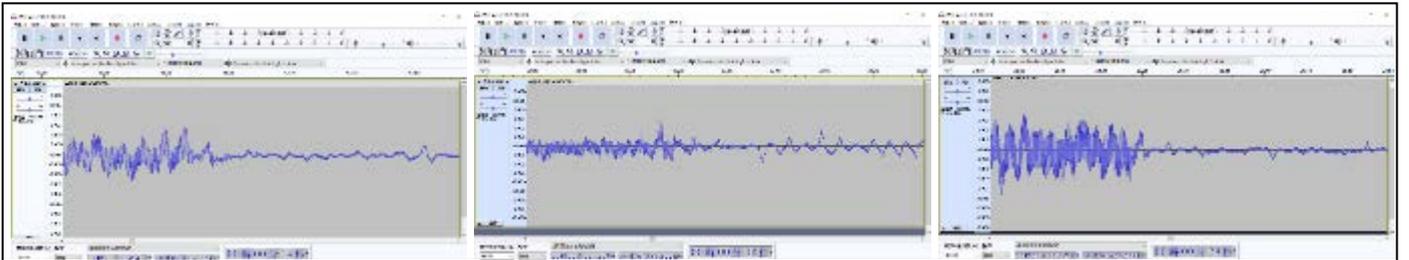


圖 9 長管在 1000 Hz 不同填充率的聲音狀態(左至右填充率為 10%, 30%與 50%)

長管在接近1000 Hz的音量變化混亂，受到反射的影響，中頻頻率的聲音較無法判讀。原因可能是當距離變長時，管壁的摩擦造成音量下降，使材料吸收的變因變得不明顯。故後續實驗將以短管做為主要實驗裝置。

### 實驗討論：

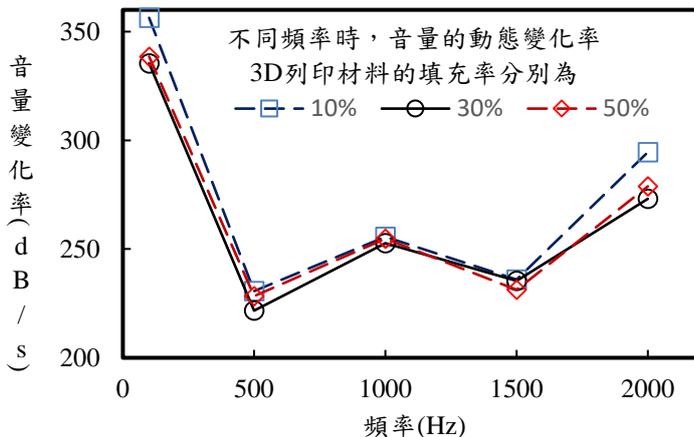


圖 10 不同 3D 列印材料填充率在不同頻率下的音量動態變化率影響圖(短管)

發現低頻音量動態變化率大。推測低頻穿透性較強，且容易讓材料震動消耗能量。同時發現3D列印材料10%空腔最大，在各頻率的音量吸收率佳，中低頻率吸收率也有明顯的差異。

而填充率30%與50%時吸收度差異不大，可以推測短管在10%的空腔大小較容易造成內部聲能反射的消耗。

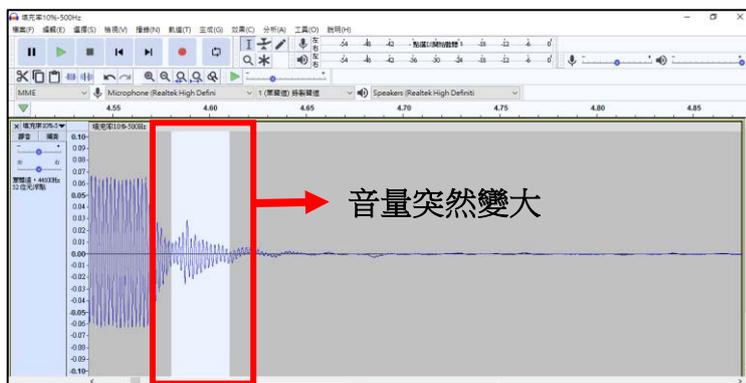


圖 11 短管填充率 10% 500 Hz 產生的共振情形

由左圖可以知道短管在500 Hz會發生共振現象(如圖11)。

另外從之後的結果也可以判斷出在500 Hz的音量動態變化率會明顯下降。推測因共振而讓音量吸收的時間延長。

## 實驗二：探討吸音密集板物理參數對吸音效果的影響

本次研究希望能在吸音板上加上口罩來提升吸音效果，故我們先針對會影響密集板吸音效果的各项物理參數進行討論，藉由交叉比對找出最佳吸音組合，期許加上口罩後能進一步達到降噪的功用。

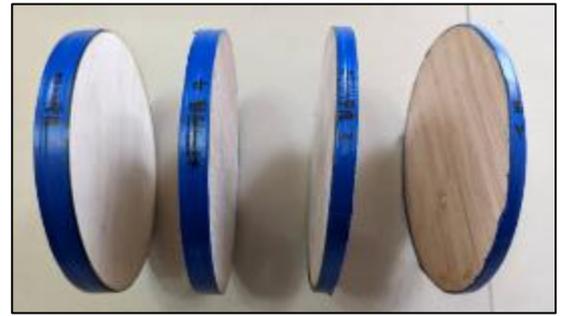


圖 12 不同厚度吸音板

### 實驗 2-1 密集板厚度對吸音效果的影響

研究方法：

1. 以雷雕機在厚度為 3.75 mm 的密集板上切割直徑為 18 cm 的圓板數個，將密集板相互疊合成厚度 7.50 mm, 11.25 mm, 15.00 mm 與 18.75 mm 四種規格(如圖 12)，再以絕緣膠帶固定。
2. 放入材料後，以短管檢測，重複實驗一步驟3到6。

實驗結果：

表3 改變密集板厚度在不同頻率下吸音的狀態

厚度	頻率	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	1500 Hz	2000 Hz
7.50 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	297.02 dB/s	189.76 dB/s	250.60 dB/s	232.36 dB/s	135.08 dB/s
11.25 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	311.32 dB/s	197.86 dB/s	253.86 dB/s	236.52 dB/s	259.96 dB/s
15.00 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	344.64 dB/s	222.52 dB/s	255.62 dB/s	243.48 dB/s	293.98 dB/s

表3 改變密集板厚度在不同頻率下吸音的狀態(續)

厚度	頻率	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	1500 Hz	2000 Hz
18.75 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	336.78 dB/s	225.84 dB/s	248.34 dB/s	233.06 dB/s	287.72 dB/s

實驗討論：

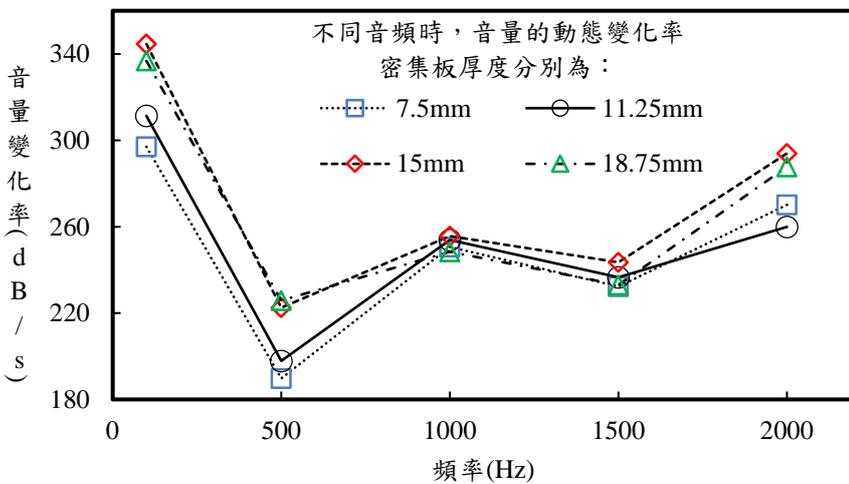


圖 13 不同頻率下密集板厚度對音量的動態變化率影響圖

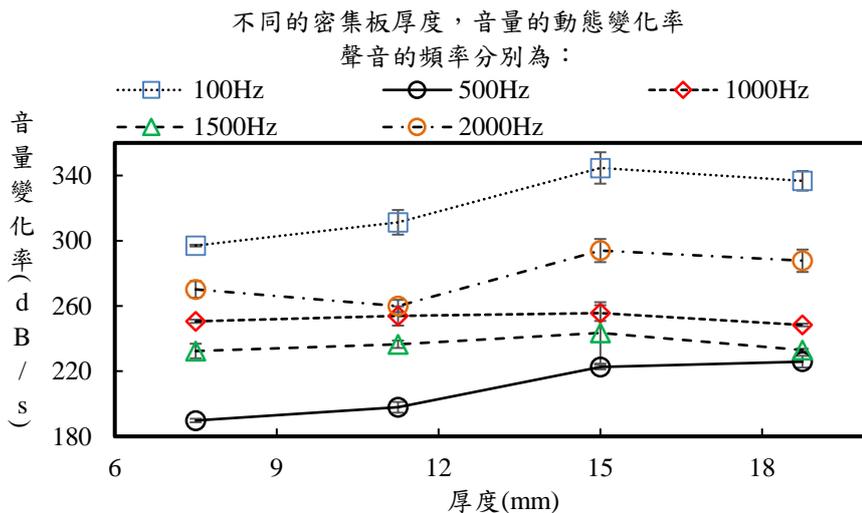


圖 14 密集板厚度在不同頻率下音量動態變化率影響圖

可以發現中低頻的穿透力強，導致分貝變化率大，另外使用頻率當因素會不好判讀，主要是因為喇叭在各個頻率所產生的音量不太相同，因此應該以密集板厚度為變因來探討音量動態變化率會比較好(如圖 14)，所以接下來的實驗會依此方式來做判讀。

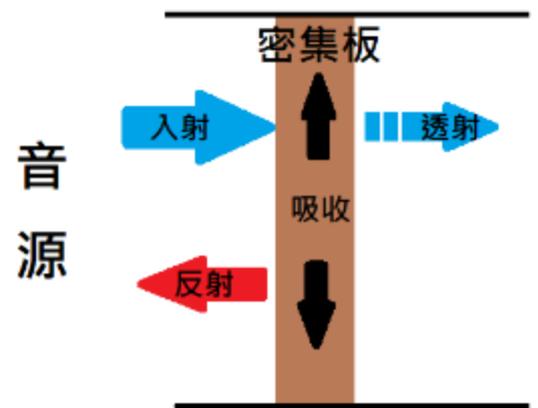


圖 15 聲音打向密集板的示意圖

聲音入射密集板的時候，會發生反射、透射與吸收的情形(如上頁圖 15)。可以發現密集板越厚音量動態變化率越大，吸音的效果也會越明顯。但超過 15 mm 時，變化率開始變小。推測是因為在開放系統中，厚度超過一定限度，讓聲音透射變少反射變多，材料本身吸收的音量少於反射的聲音，而讓音量動態變化率下降。所以為了能明確了解材料對吸音程度的影響，且密集板厚度在 15 mm 時吸音效果最好。所以後續實驗會將四片密集板相互堆疊當做標準，讓吸收效果能明顯觀察。

### 實驗 2-2：密集板吸音孔孔徑大小對吸音效果的影響

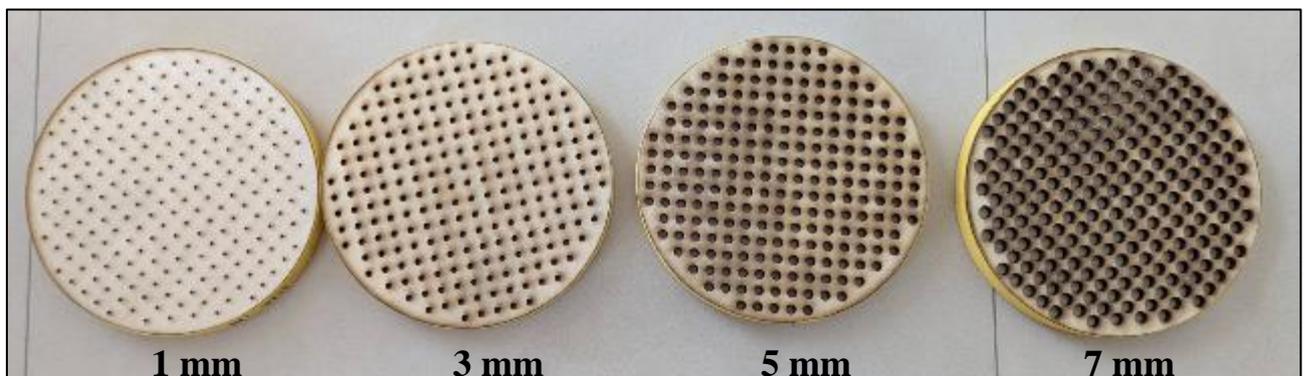


圖 16 密集板不同吸音孔孔徑板材

#### 研究方法：

1. 以雷雕機在圓板上分別均勻刻劃221個孔洞，其孔徑分別為1 mm, 2 mm, 3 mm與4 mm，而後再分別各取三片厚度為3.75 mm未刻劃孔洞的圓板堆疊作為背板，再以絕緣膠帶固定。
2. 放入材料後，以短管檢測，重複實驗一步驟3到6。

實驗結果：

表4 改變密集板孔徑在不同頻率下吸音的狀態

孔徑	頻率	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	1500 Hz	2000 Hz
1.00 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	284.96 dB/s	223.94 dB/s	246.68 dB/s	230.28 dB/s	367.58 dB/s
3.00 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	275.54 dB/s	225.96 dB/s	248.98 dB/s	230.12 dB/s	274.30 dB/s
5.00 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	324.76 dB/s	224.36 dB/s	249.92 dB/s	226.54 dB/s	308.5 dB/s
7.00 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	307.88 dB/s	229.96 dB/s	256.06 dB/s	225.64 dB/s	304.98 dB/s

實驗討論：

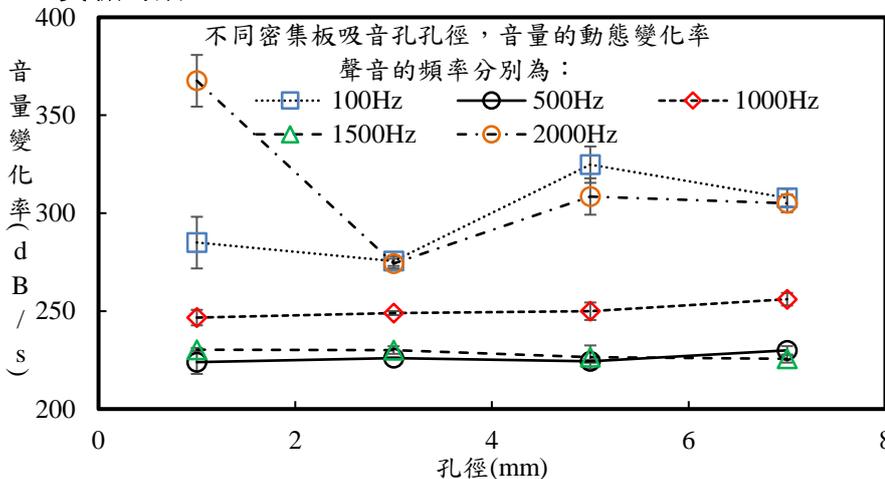


圖 17 密集板孔徑在不同頻率下音量動態變化率影響圖

可以發現中低頻 100 Hz 與中高頻 2000 Hz 吸收率在各孔徑中普遍比 500 Hz ~ 1500 Hz 好。其中中低頻 100 Hz 在密集板孔徑 5 mm 的吸收效果最好；中高頻 2000 Hz 則是在 1 mm 中吸音效果最好；中頻 1000 Hz 吸收度則是大於有共振跡象的 500 Hz。

### 實驗2-3：密集板吸音孔深淺對吸音效果的影響

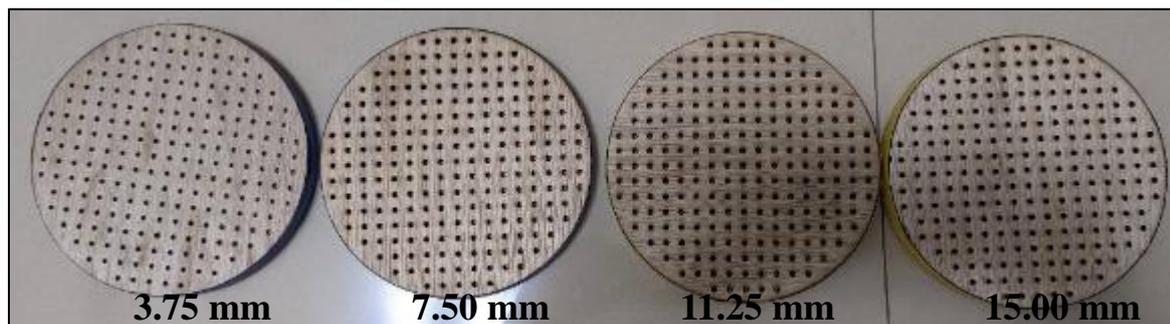


圖 18 密集板不同吸音孔孔深板材(孔徑 3 mm)

#### 研究方法：

依實驗 2-2 所得結果，我們選用效果較差的 3 mm 孔徑密集板(想讓後續實驗的效果差異明顯)，進行不同吸音孔深度對吸音效果的實驗，每組樣材都具有四片厚度為 3.75 mm 的密集板。

1. 一片有孔洞密集圓板與三片未刻劃孔洞的圓板，對齊堆疊再以絕緣膠帶固定，孔深 3.75 mm。
2. 二片有孔洞密集圓板與二片未刻劃孔洞的圓板，對齊堆疊再以絕緣膠帶固定，孔深 7.50 mm。
3. 三片有孔洞密集圓板與一片未刻劃孔洞的圓板，對齊堆疊再以絕緣膠帶固定，孔深 11.25 mm。
4. 四片有孔洞密集圓板對齊堆疊再以絕緣膠帶固定，孔深 15.00 mm。

#### 實驗結果：

表5 不同密集板孔深度在不同頻率下吸音的狀態

孔深	頻率	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	1500 Hz	2000 Hz
3.75 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	336.60 dB/s	234.94 dB/s	246.96 dB/s	228.60 dB/s	263.66 dB/s

表 5 不同密集板孔深度在不同頻率下吸音的狀態(續)

孔深	頻率	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	1500 Hz	2000 Hz
7.50 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	320.04 dB/s	239.76 dB/s	249.34 dB/s	231.04 dB/s	288.84 dB/s
11.25 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	317.40 dB/s	240.92 dB/s	254.60 dB/s	231.78 dB/s	327.04 dB/s
15.00 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	351.42 dB/s	250.72 dB/s	253.66 dB/s	224.74 dB/s	244.36 dB/s

實驗討論：

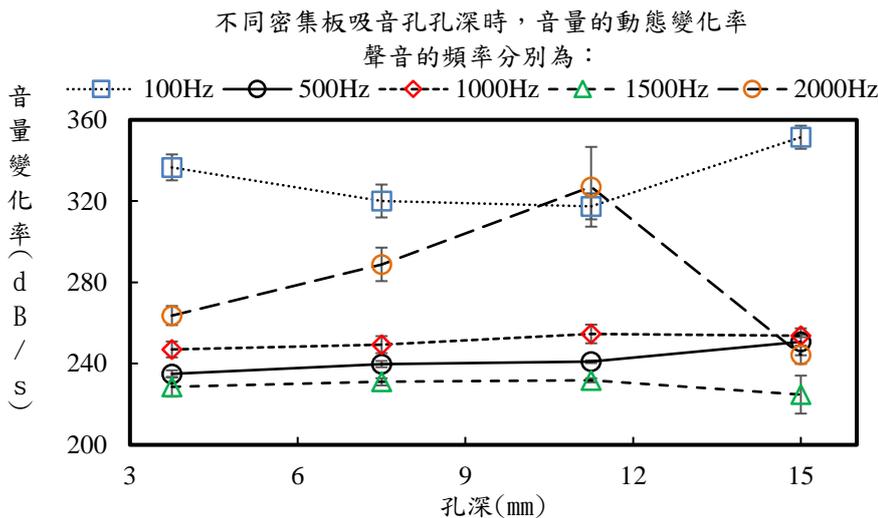


圖 19 密集板孔深在不同頻率下音量動態變化率影響圖

以不同頻率來看，中低頻 100 Hz 與中高頻 2000 Hz 吸音效果明顯優於 500, 1000 與 1500 Hz，且 500 Hz ~ 1500 Hz 吸音效果差異不大；中低頻 100 Hz 在孔深 15 mm 吸收聲音效果最好；2000 Hz 則是在孔深 11.25 mm 吸收效果最佳。

推測中低頻 100 Hz 可能是因容易使材料震盪，導致消耗許多能量而讓音量動態變化率最佳。

## 實驗 2-4：密集板孔距間距對吸音效果的影響

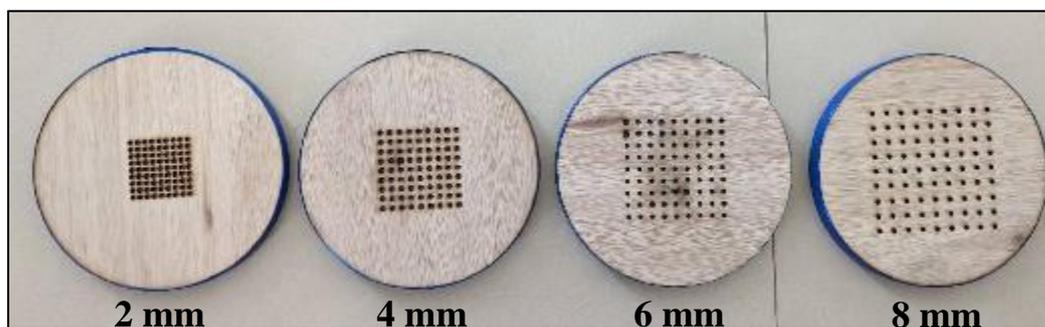


圖 20 密集板吸音孔不同孔距板材

### 研究方法：

依實驗2-3所得結果，我們選用孔徑為3 mm且孔深為11.25 mm的密集板進行不同孔距對吸音效果的實驗，每組樣材都具有四片厚度為3.75 mm的密集板。以圓心為對稱點，在圓板上刻畫9x9共81個孔洞，每個孔洞間的距離分為2 mm, 4 mm, 6 mm與8 mm共四組樣材，比較每組樣材吸音效果。

### 實驗結果：

表6 改變密集板孔距在不同頻率下吸音的狀態

孔距	頻率	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	1500 Hz	2000 Hz
2.00 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	315.84 dB/s	230.10 dB/s	261.30 dB/s	228.52 dB/s	324.70 dB/s
4.00 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	344.64 dB/s	236.06 dB/s	256.82 dB/s	228.62 dB/s	303.12 dB/s

表6 改變密集板孔距在不同頻率下吸音的狀態(續)

孔距	頻率	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	1500 Hz	2000 Hz
6.00 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	313.94 dB/s	234.28 dB/s	247.78 dB/s	229.56 dB/s	301.80 dB/s
8.00 mm	吸音音波圖					
	音量變化率	315.66 dB/s	238.24 dB/s	247.10 dB/s	229.82 dB/s	257.70 dB/s

實驗討論：

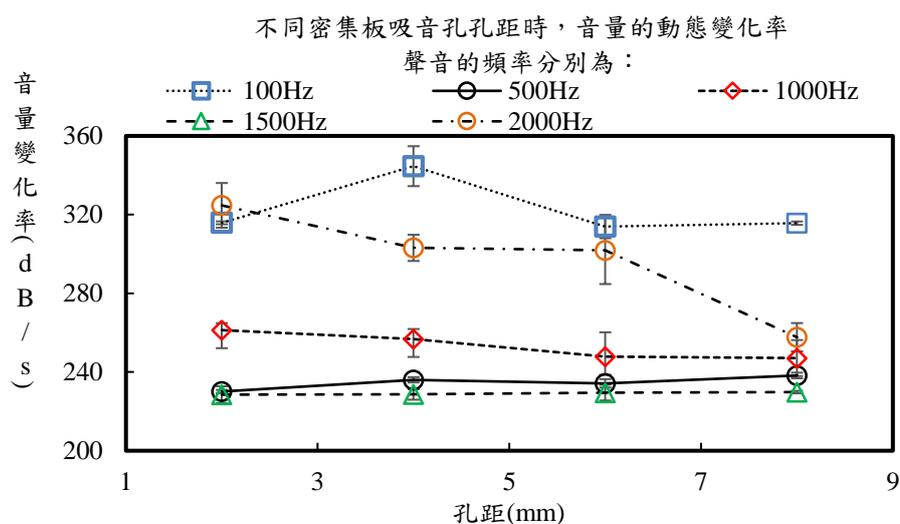


圖 21 密集板孔距在不同頻率下音量動態變化率影響圖

可以發現在中頻 500 Hz ~ 1500 Hz，孔距不太影響結果，影響比較多的是中低頻 100 Hz 與中高頻 2000 Hz，而 100 Hz 在孔距 4 mm 效果最好，至於 2000 Hz 可以看出孔距越小吸音效果越好。

**發現問題：**發現無吸音孔吸音板的吸音效果比有吸音孔的好(孔深與孔徑的實驗)，於是想探討到底為何如此。

**解決問題：**設計音箱實驗，以一個箱子當吸音箱(狀態如下頁圖 22~23)，其中一面為吸音板，分成兩種類型，無孔密集板與有孔密集板。放置喇叭在音箱內部持續播放後，分別在吸音箱內、外部紀錄音量，以及紀錄聲音停止的區段，其實驗結果如下頁表 7：

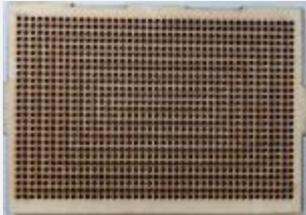
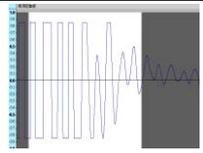
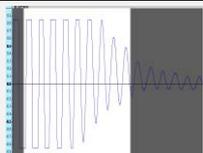
表 7 無孔與有孔密集板吸音效果(100 Hz)的比較



圖 22 吸音箱內部



圖 23 吸音箱外部收音狀態

吸音板類型		無孔密集板	具吸音孔密集板
板面狀態			
聲音停止瞬間	音箱內音量變化率	149.38 dB/s	118.80 dB/s
	音箱外音量變化率	115.40 dB/s	150.34 dB/s
吸音音波圖			
聲音持續輸出	音量 (音箱內)	75.07 dB	75.07 dB
	音量 (音箱外)	61.92 dB	52.54 dB
音箱內外音量變化		13.15 dB	22.53 dB

我們發現，聲音停止瞬間，無孔密集板在箱內的音量動態變化率是比有孔密集板的變化率大，但箱外音量動態變化率反而是有孔密集板較大。但在音頻持續輸出的狀況下，箱內外都可以看出，具有孔洞的密集板所測得的音量差較大。也就是說，無孔密集板是因為箱內的聲音反射抵消造成變化率較大，而有孔密集板則是要經過吸音板後，音量才明顯下降，甚至變化比無孔密集板還大 9.38 dB。這也讓我們理解為何在箱內測量音量時，無孔密集板的音量動態變化率反而比有孔密集板還大。

### 實驗三：校內不同樹種對中低頻(100 Hz)吸音效果的比較

在學校周遭與校內收音，可以發現噪音大多在100 Hz ~ 200 Hz之間(如圖24)，所以針對中低頻100 Hz在不同樹種的聲音吸收程度來做探討。

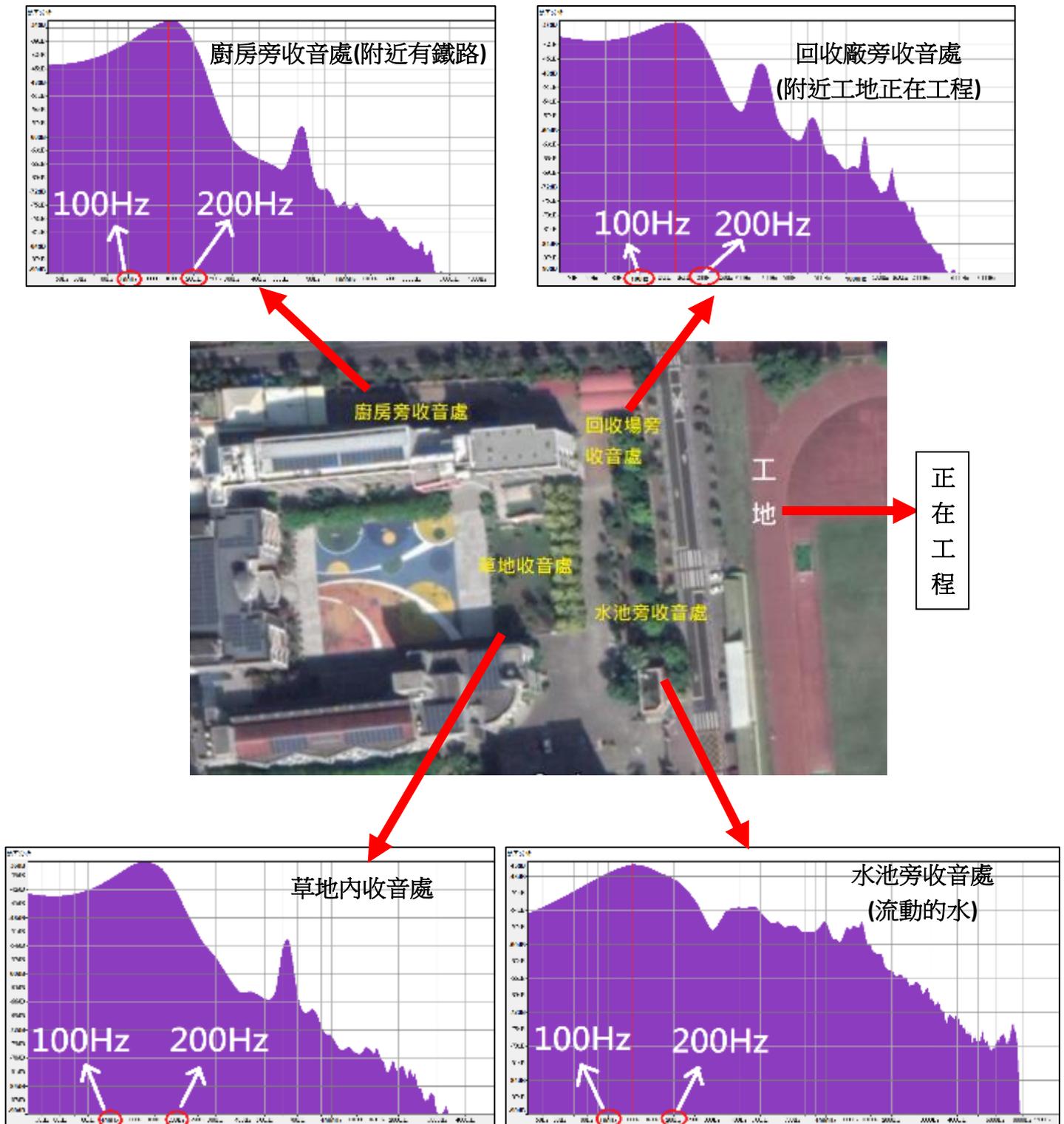


圖 24 學校周圍環境噪音檢測(地圖來源：Google map)

**研究方法：**

1. 先調查學校內與外圍人行道上的木本植物，並選擇樹幹直徑大於20 cm以上的樹種。
2. 將自製吸音管的開孔處先以膠帶圍繞，再將開口端靠近並膠帶封住減少受外界噪音影響。
3. 重複實驗一步驟3到6，以100 Hz的聲音打擊樹幹並收音記錄。



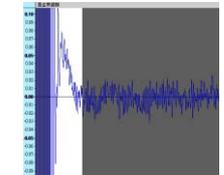
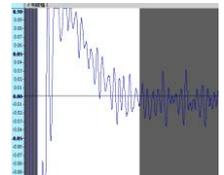
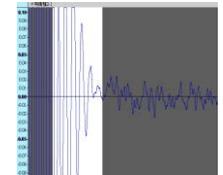
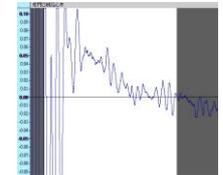
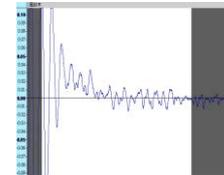
圖 25 吸音管緊貼樹幹偵測反射聲音

**實驗結果：**

表8 校園樹種吸音效果(100 Hz)的比較

樹名	二葉松	榕樹	樟樹	玉蘭花	椰子樹
樹種	松科 松屬	桑科 榕屬	樟科 樟屬	木蘭科 含笑屬	棕櫚亞科 椰子屬
所在區域	廚房旁	校內回收廠旁，牆外正值工程			水池邊
樹					
樹幹表面					
吸音音波圖					
音量變化率	254.40 dB/s	228.11 dB/s	258.90 dB/s	189.68 dB/s	212.17 dB/s

表8 校園樹種吸音效果(100 Hz)的比較(續)

樹名	黃金串錢柳	鳳凰木	茄冬	桃花心木	風鈴木
樹種	桃金娘科 白千層屬	豆科 鳳凰木屬	大戟科 重陽木屬	楝科 桃花心木屬	紫葳科 風鈴木屬
所在區域	草地旁			校外人行道上	
樹					
樹幹表面					
吸音音波圖					
音量變化率	83.58 dB/s	141.95 dB/s	245.48 dB/s	109.67 dB/s	191.06 dB/s

實驗討論：

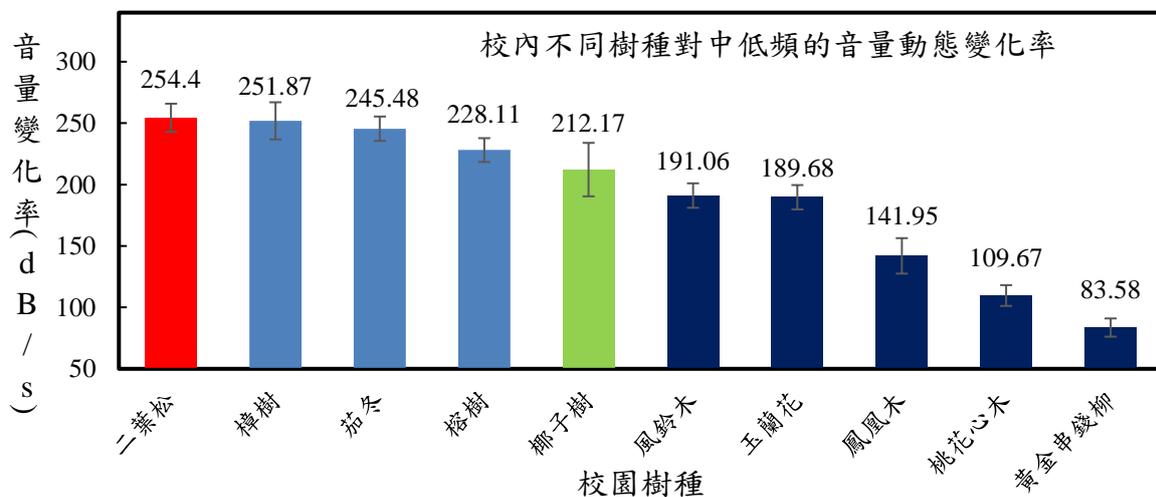


圖 26 校內各種樹種在中低頻的音量動態變化率

從實驗結果得知，校內各樹種對中低頻(100 Hz)音量動態變化率大小為二葉松>樟樹>茄冬>榕樹>椰子樹>風鈴木>玉蘭花>鳳凰木>桃花心木>黃金串錢柳。

從上頁圖 26 可看出吸音程度由左往右減弱，可以看出二葉松吸音能力最強，主要是樹皮鬆散容易剝落，加上樹皮與樹幹間有許多空隙增強吸音效果，音量動態變化率甚至比最差的黃金串錢柳多增加 170.58 dB/s；樟樹、茄冬與榕樹因樹皮多為裂開的網狀，所以吸音能力次之；另外椰子樹表皮雖然較光滑，但因樹幹本身空隙多，讓樹幹內部聲能反射消耗，具有不錯的吸音效果；同時可以發現吸音程度最差的黃金串錢柳與桃花心木樹皮都有較厚的情形，且皆具有垂直的裂紋，木材較硬，導致反射聲音多而造成吸音效果較差，其中垂直的裂紋會導致聲音反射無法四散，讓音量動態變化率較小。

希望可以利用此結果，讓學校植栽的選擇可以做為參考依據。

#### 實驗四：口罩嵌入吸音板對中低頻(100 Hz)吸音效果與應用

在實驗三發現學校環境噪音大多落在中低頻的聲音，所以我們將結合實驗二的結果，針對100 Hz的聲音來作為吸音的探討，再利用口罩作為夾層，探討不同夾層的方式對吸音效果的影響。

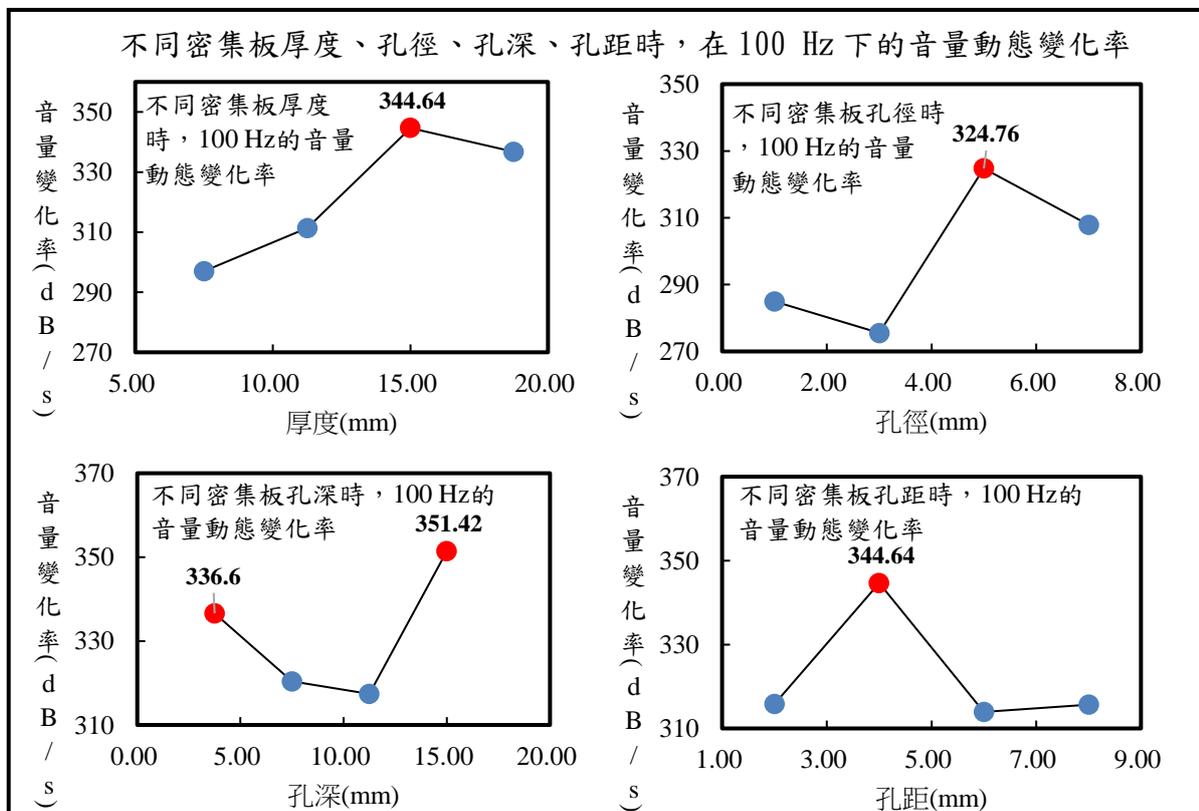


圖 27 實驗二在 100 Hz 的實驗結果整理

由上頁圖 27 可發現，當密集板孔深 15 mm，孔徑 5 mm，且孔距 4 mm 對中低頻(約 100 Hz) 的吸音效果最佳，然而以此規格作為裝潢板材時，因孔深等於厚度，會使得孔穿透吸音板，這樣會容易讓灰塵跑進隔層之間且不易清潔。故將實驗二各種變因整理後的結果以圖 28 表示。

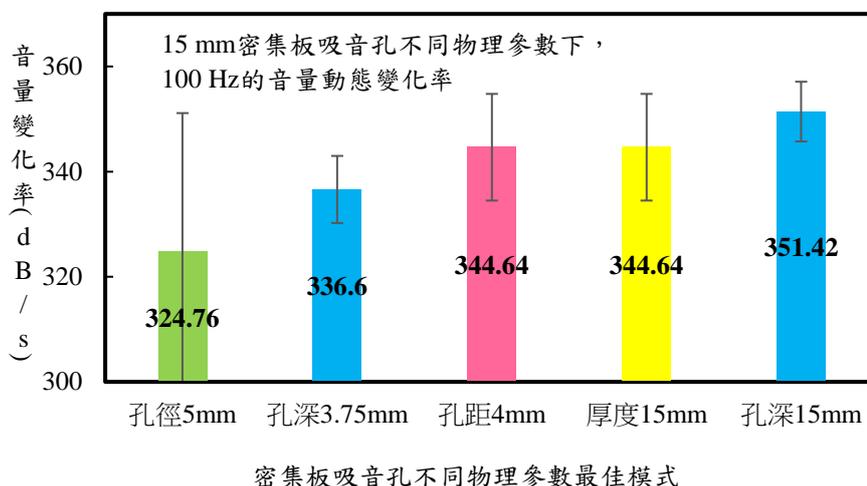


圖 28 實驗二密集板 100 Hz 物理參數不同模式最佳化音量動態變化率比較

最後，我們考慮裝潢的清潔難易，接下來將孔深改為效果次之的 3.75 mm，並以此數據製作吸音板，結合口罩改良並測試其吸音程度。

#### 研究方法：

1. 由實驗二針對 100 Hz 的結果統計，依據此結果再添加口罩夾層。
2. 分別以口罩內層與外層當正面，先以絕緣膠帶固定在圓形密集板上，接著與帶孔密集板結合，並再用絕緣膠帶固定。
3. 放入改良的吸音板以短管檢測，並針對中低頻 100 Hz 重複實驗一步驟 3 到 6。

口罩嵌入密集板，我們將結構分成三個部分：

A：帶孔的密集板 B：口罩夾層 C：無孔密集板(背板)

嵌入口罩的方式分為口罩外層與口罩內層面朝外兩種，另一種則是無口罩版的對照組。

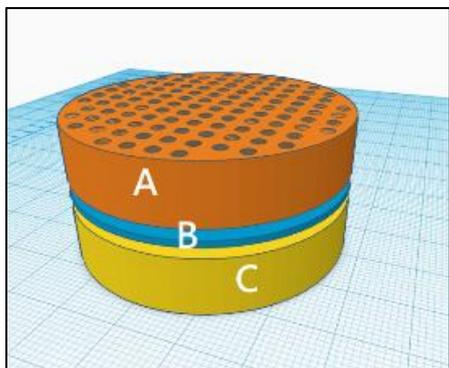


圖 29 口罩與帶孔板相連示意圖

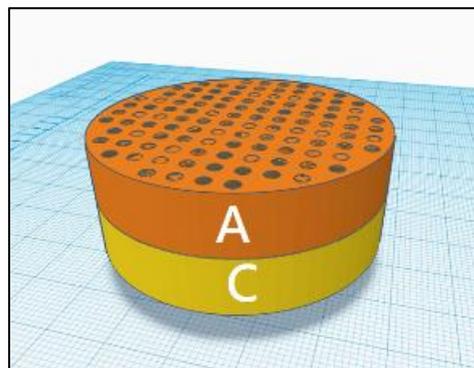


圖 30 無口罩版示意圖

把吸音板口罩材料夾層分成TYPE1-3共三種

TYPE 1：帶孔密集板直接與背板相連，作為對照組(無口罩)

TYPE 2：將口罩直接與帶孔板相連，以口罩最外層(聚丙烯不織布)作為吸收面(如圖31)

TYPE 3：將口罩直接與帶孔板相連，以口罩最內層(複合纖維不織布)作為吸收面(如圖32)



圖 31 聚丙烯紡黏不織布面(口罩最外層)朝外



圖 32 複合纖維不織布面(口罩最內層)朝外

實驗結果：

表9 改變口罩夾層方式吸音的(100 Hz)狀態

口罩夾層方式	TYPE1	TYPE2	TYPE3
吸音音波圖			
音量變化率	355.98 dB/s	408.4 dB/s	352.92 dB/s

實驗討論：

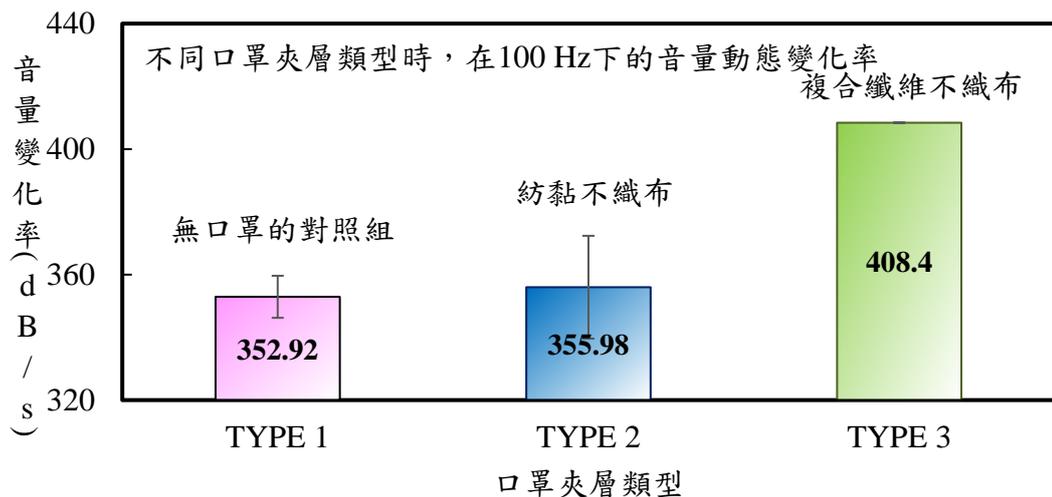


圖 33 改變口罩夾層方式在中低頻(100 Hz)的音量動態變化率圖

由圖 33 可發現，添加口罩所產生的降噪效果優於沒有口罩的樣材。因此將未添加口罩的樣材作為對照組(TYPE1)。將不同材質的不織布作為實驗組(紡黏不織布 TYPE2，複合纖維不織布 TYPE3)。添加口罩後，發現以複合纖維不織布(口罩內層面朝外)嵌入吸音孔內的 TYPE3 吸收中低頻 100 Hz 的聲音效果最好。在聲音停止音量下降的瞬間，音量動態變化率比對照組多增加 55.48 dB/s。推測，當聲音經由孔洞打向口罩時，複合纖維不織布因為光滑且軟，有如緩衝的效果來消耗聲能，而讓複合纖維不織布的效果優於紡黏不織布。而紡黏不織布(口罩外層面朝外)空隙較複合纖維小且硬，且表面有防潑水層，導致聲音反射的量高於複合纖維，而降低聲音吸收的量，而且吸收效果幾乎與沒使用口罩的對照組沒有差別，僅僅比對照組多增加音量動態變化率 3.06 dB/s 而已。

## 肆、結論

### 一、針對 3D 列印材料：

可以發現 3D 列印材料對中低頻吸收率較高以及在填充率 10%時吸音效果最佳，推測板材內部有空隙可以消耗聲能，同時可以呼應在實驗三，校園樹種吸收中低頻效果最佳的二葉松，其樹皮與樹幹間的空隙可以用來增強吸音效果的結果。另外，也發現在 500 Hz 會產生共振而影響結果，推測是壓克力管的自然頻率所導致。

### 二、針對裝潢密集板物理參數：

**1. 厚度：**聲音在板材內會發生反射、透射與吸收的現象。板材越厚，吸音與聲音透射效能越好而讓吸音效果越明顯。但超過 15 mm 時，聲音的反射影響大於吸收與透射。所以後續實驗會以密集板厚度固定為 15 mm，來當作實驗的條件。

**2. 孔徑、孔深與孔距：**吸音板材固定厚度 15mm，並在不同孔徑、孔深與孔距下，音頻在 100 Hz 與 2000 Hz 時，都具有比其他頻率更佳的效果；音頻在中低頻 100 Hz 時，吸音板材分別在孔徑 5 mm、孔深 15 mm 與孔距 4 mm 下才具有良好吸音的效果；音頻在中高頻 2000 Hz 時，吸音板材分別在孔徑 1 mm、孔深 11.25 mm 與孔距 2 mm 下才具有良好的吸音效果。

**3. 在箱內測量音量，無孔密集板吸音效果比有孔密集板好的問題：**可以發現無孔密集板因聲音會在箱內多重反射而削弱。具有孔洞的密集板，則是因為孔洞內徑比聲音的波長長度小很多，而讓聲音進入孔洞時，會先被破壞，再加上孔洞深度越深會讓聲音吸收的表面積變大而使音量快速下降，因此當箱內的指向性麥克風接收音量時，無孔密集板的音量動態變化率比有孔吸音板(孔徑與孔深低於 15 mm 的實驗)還大，而聲音通過吸音板後，反而是有孔吸音板的吸收率比無孔吸音板還好。

### 三、校園不同樹種對中低頻(100 Hz)吸音效果的比較：

校園樹種吸收中低頻聲音(100 Hz)的效果依序為：

二葉松>樟樹>茄冬>榕樹>椰子樹>風鈴木>玉蘭花>鳳凰木>桃花心木>黃金串錢柳

由此可知二葉松吸收中低頻聲音的效果最好，其音量動態變化率甚至比最差的黃金串錢柳還多增加 170.58 dB/s。因此推薦以二葉松、樟樹、茄冬樹或榕樹來當學校植栽的參考。

#### 四、口罩夾層的方式對中低頻(100 Hz)吸音效果的應用與影響：

由實驗結果可知，當以厚度 15 mm、孔徑 5 mm、孔深約 3.75 mm 以及孔距 4 mm 綜合條件作為吸音板時，對中低頻 100 Hz 的吸音效果佳，音量動態變化率為 352.92 dB/s。若是在吸音板添加口罩作為吸音材料，以 ES 複合纖維(PP+PE)不織布面向音源，會使效果提升，其變化率可比沒有添加口罩的對照組還多增加 55.48 dB/s。

最後綜合結果，把所有模式的音量動態變化率優良的組別，以下圖表示其效果如下：

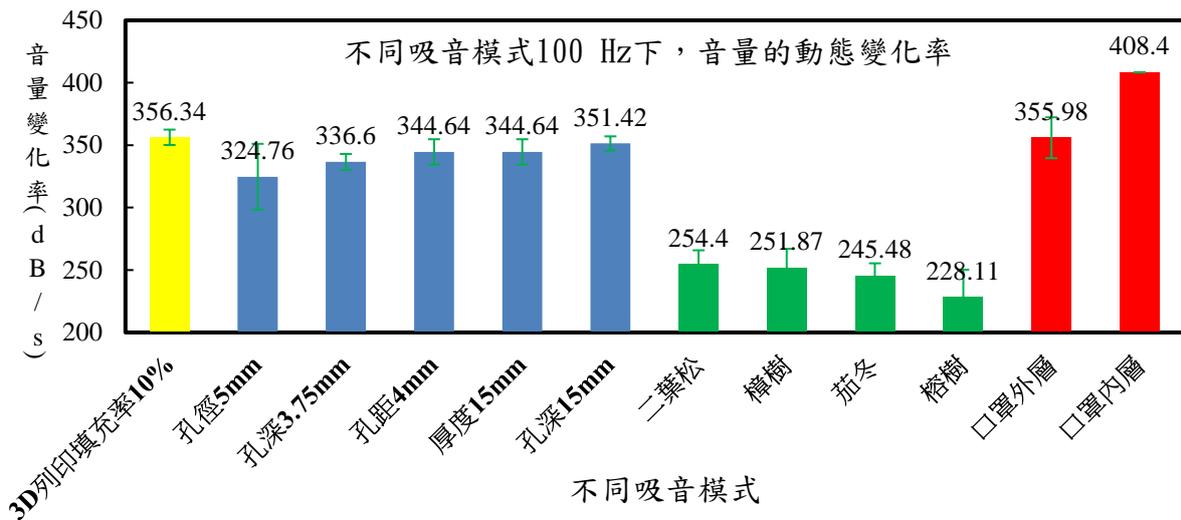


圖 34 不同吸音板模式最佳化的音量動態變化率比較圖

#### 伍、參考資料

1. 每日頭條-文化. (2019年9月18日). 擷取自 聲音分有7個頻段，常說的高、中、低三頻怎麼區分? : <https://kknews.cc/zh-tw/culture/x6xxrpq.html>
2. 許婷. (2010). 腔體共振之探討. 全國科學展覽會，高中組，物理科
3. 蔡振家. (2001). 泛音唱法的物理基礎. 科學月刊, 24-31.
4. 戴崇峰. (2020年2月27日). 防疫大作戰背後的熔噴不織布. 2022年1月15日 擷取自 全球紡織資訊網: <https://www.tnet.org.tw/Article/Detail/26550>
5. Rubén Maderuelo-Sanz, Acedo-Fuentes, Francisco José García-Cobos, Francisco José Sánchez-Delgado, Patricia. (2021). The recycling of surgical face masks as sound porous absorbers: Preliminary evaluation. Science of the Total Environment, 頁 786.
6. zadeh, S. Kim, N.X. Fang S. (2020). Multi-layer perforated panel absorbers with oblique perforations. Applied Acoustics, 頁 169.

## 【評語】 030108

噪音吸收為生活中一個重要的課題。本作品系統化分析了密集板與吸音孔對不同頻率的吸收效應，並進一步以此為基礎，研究校園植物的吸收效應，同時也研究了口罩對於吸音的用途，是一個相當廣泛且有趣的作品。

## 作品簡報

組別：國中組  
科別：物理科



# 聲死一瞬間

密集板x防疫口罩再利用x校園樹種抗噪大作戰

# Introduction

## Motivation

- 因COVID-19 疫情，未來廢棄或剩餘口罩會越來越多。
- 想利用手邊材料(密集板)加上口罩去吸收環境噪音。
  - 校園植栽吸收環境噪音。

## Purposes

針對裝潢密集板在開放性環境的吸音程度與改善，及校內樹種對中低頻的吸音程度進行探究。探討目標如下：

1. 裝潢的密集板孔洞物理變因對吸音的影響。
2. 密集板以口罩材料夾層，分析其吸音改善程度以及應用。
3. 校園不同樹種的樹皮對中低頻噪音吸音效果的比較。

# Methodology

## Literature Review – correlation theory

- 聲音反射
  - 聲音吸收
  - 聲音穿透
- ◆ 口罩結構

## Improve Analytical Methods

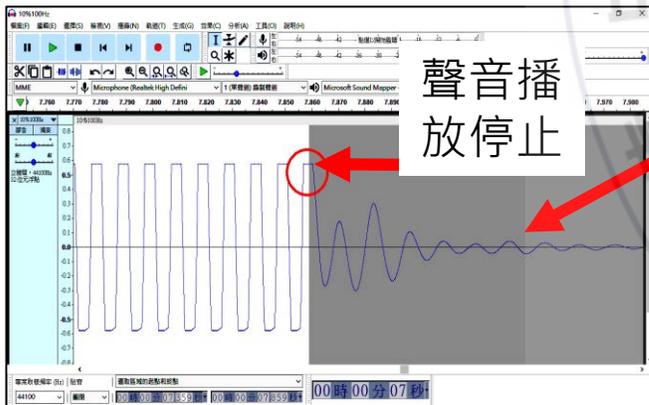


圖3 判斷吸收音量效率所遇到的問題

聲音吸收停止點不好判斷

音量動態變化計算 =

聲音停止前0.05秒平均音量—停止後0.05秒平均音量  
0.05秒

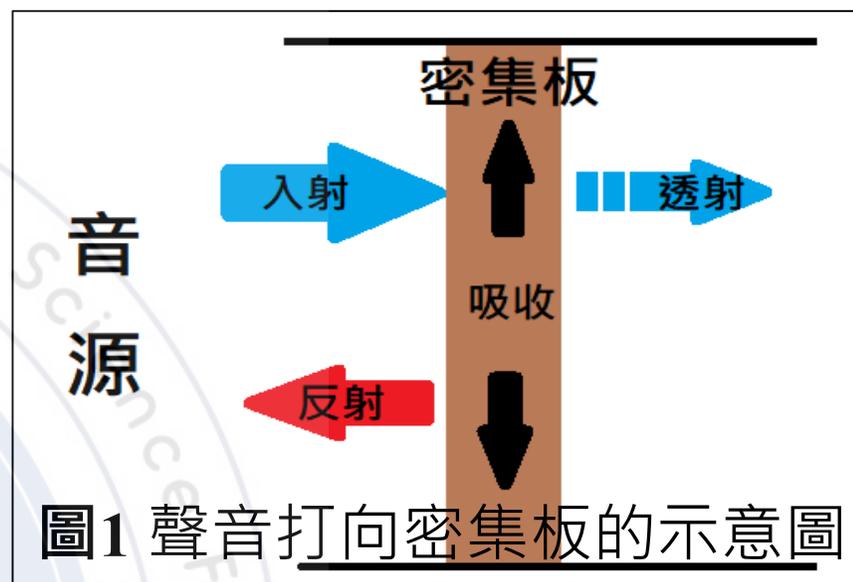


圖1 聲音打向密集板的示意圖

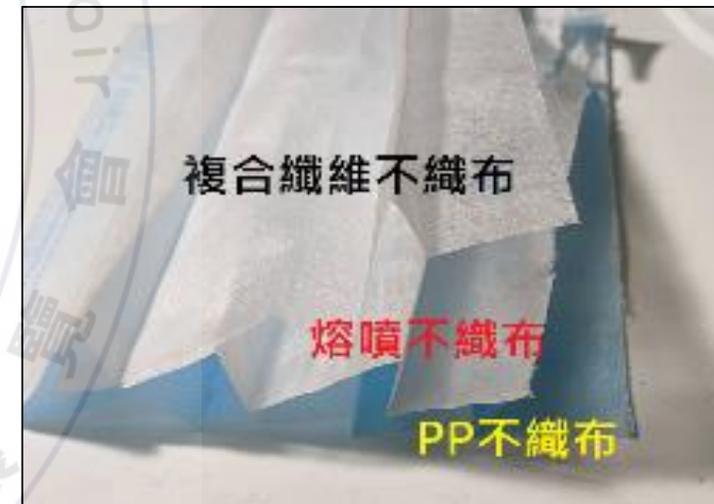


圖2 醫療口罩內的三層材料

# Research Design

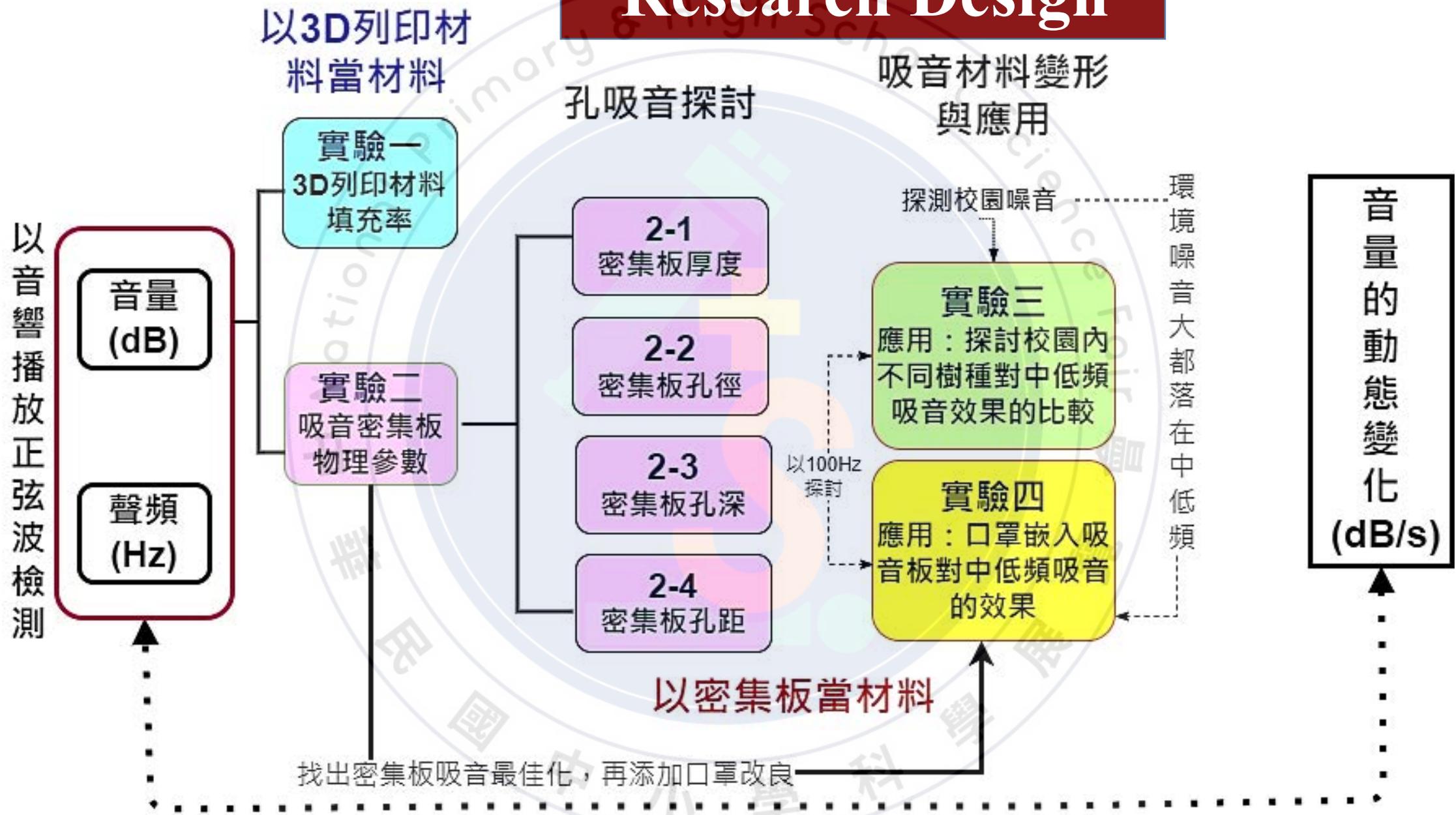
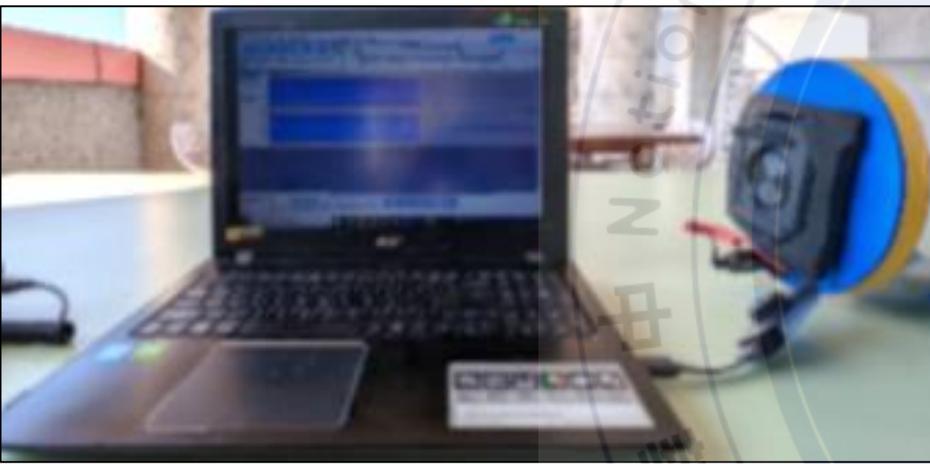


圖4 研究架構圖

# Materials & Data

以Audacity分析聲音



音效擷取卡



指向性麥克風

吸音桶主體



圖5 實驗裝置分析聲音示意圖

數據收集程序：

- 以音效擷取卡連結指向性麥克風紀錄聲音
- 利用Audacity程式轉換分貝紀錄
- Audacity的數據從趨勢方程來轉換成分貝計讀數

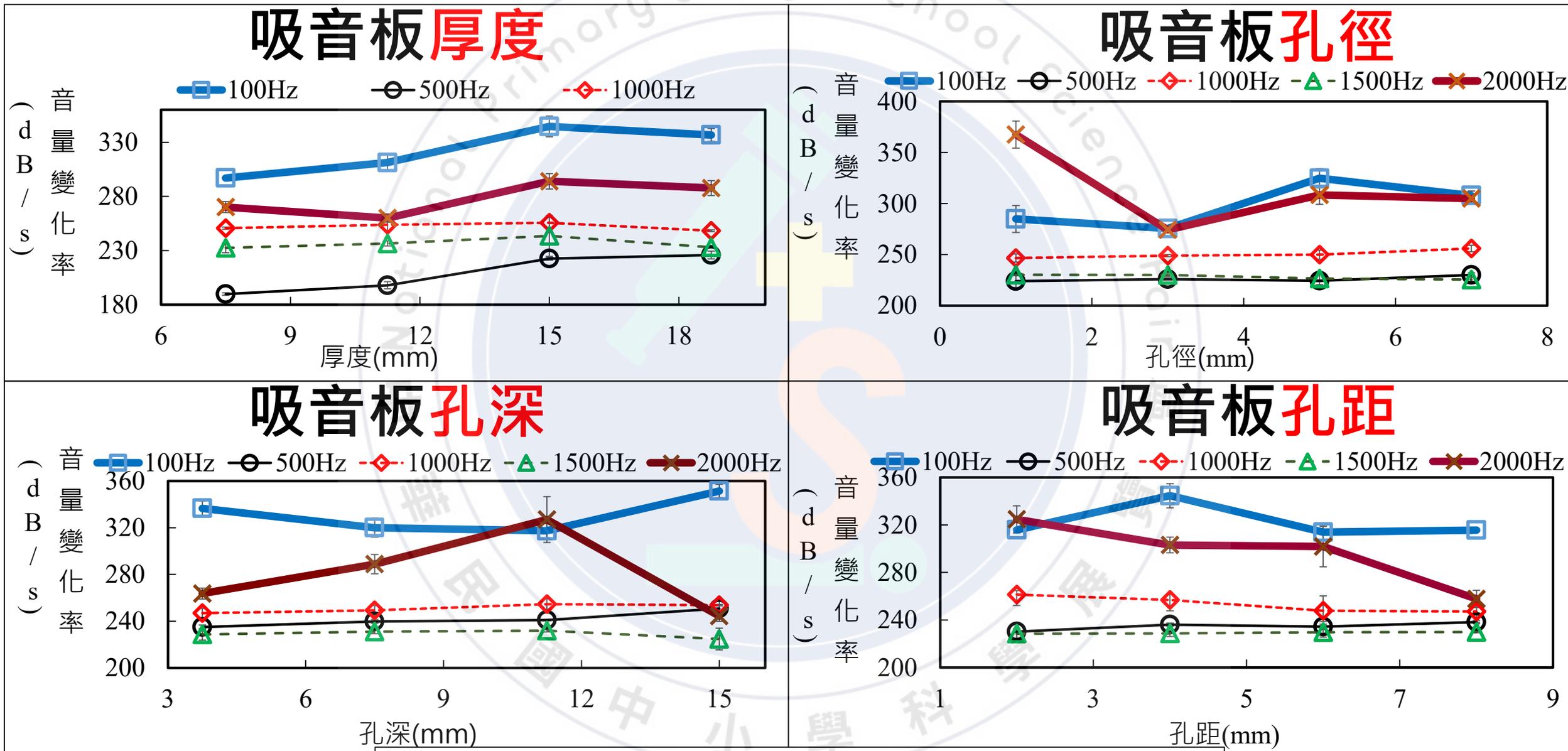


圖6 吸音板物理參數在不同頻率的音量變化率

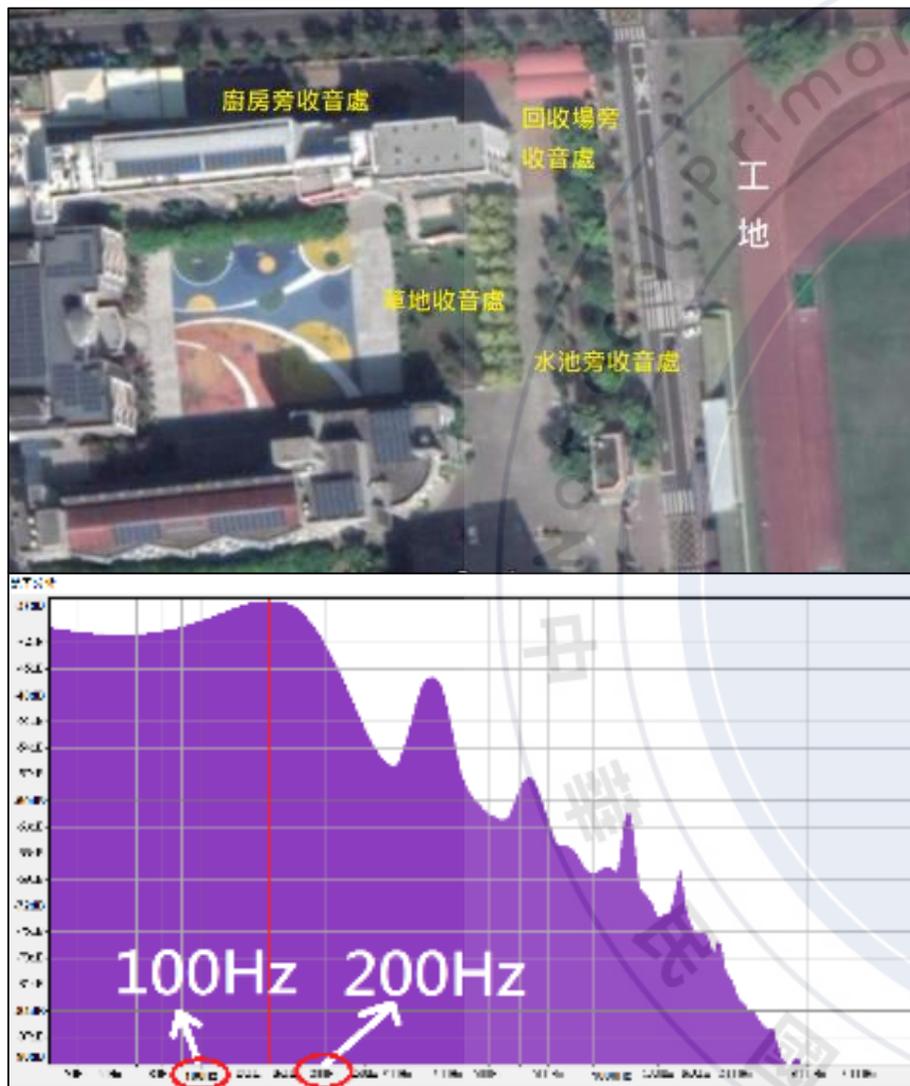


圖7 學校周圍環境噪音檢測  
(地圖來源：Google map)

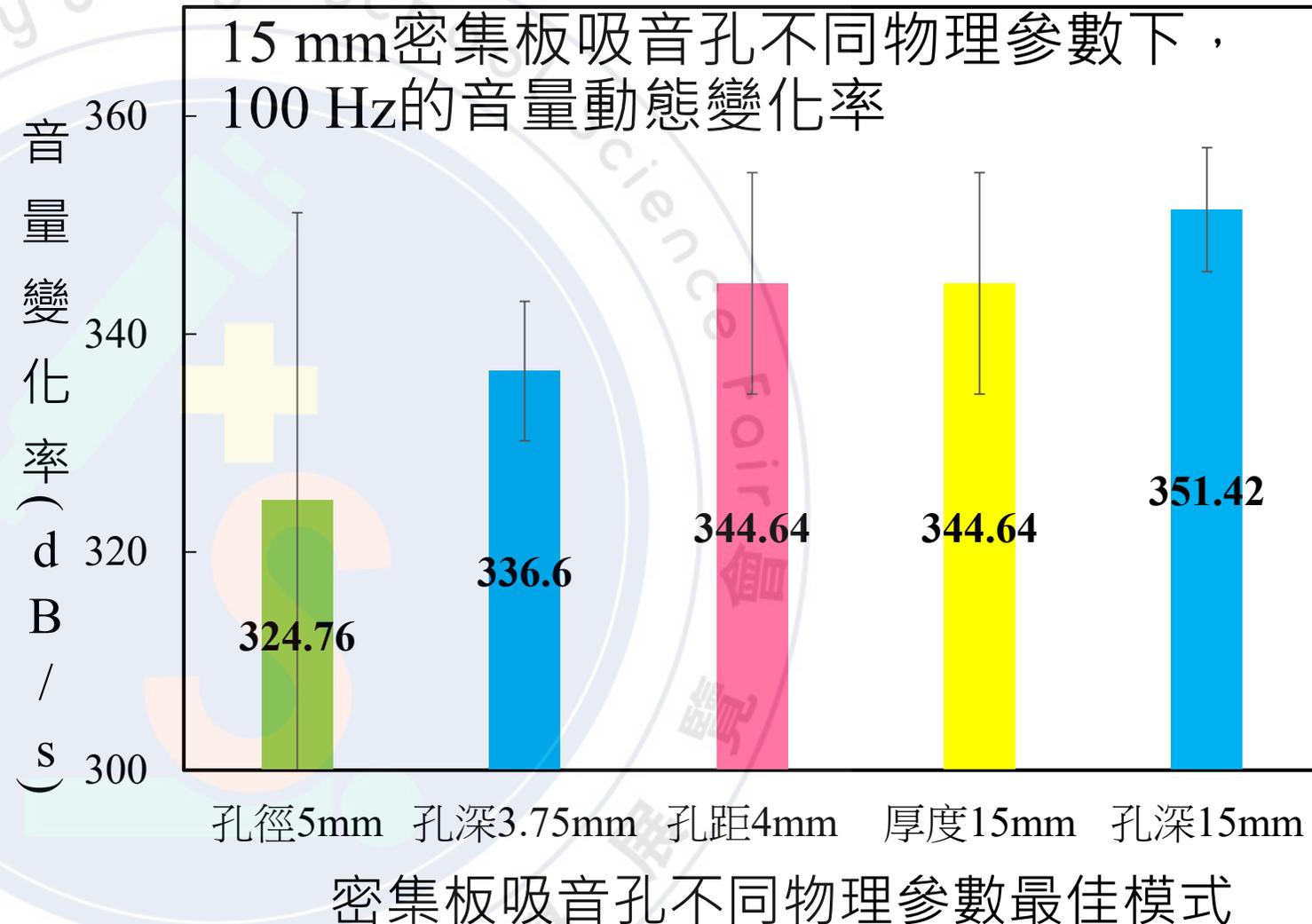


圖8 實驗二100 Hz 不同模式最佳化音量動態變化率

## 發現無孔密集板吸音比有孔密集板實驗佳?

表1 無孔與有孔密集板  
吸音效果(100 Hz)的比較



圖9 吸音  
箱內部



圖10 吸音箱外  
部收音狀態

### 推測：

無孔密集板吸音效果來自於內部反射抵消造成，而有孔吸音板則是吸音板孔洞所吸收。

吸音板類型	無孔密集板	具吸音孔密集板
板面狀態		
聲音停止瞬間		
音箱內音量 變化率	149.38 dB/s	118.80 dB/s
音箱外音量 變化率	115.40 dB/s	150.34 dB/s
聲音持續放		
音量 (音箱內)	75.07 dB	75.07 dB
音量 (音箱外)	61.92 dB	52.54 dB
音箱內外 音量變化	13.15 dB	22.53 dB

# II. 添加口罩改良密集板的吸音效果

A : 帶孔的密集板 B : 口罩夾層  
 C : 無孔密集板(背板)

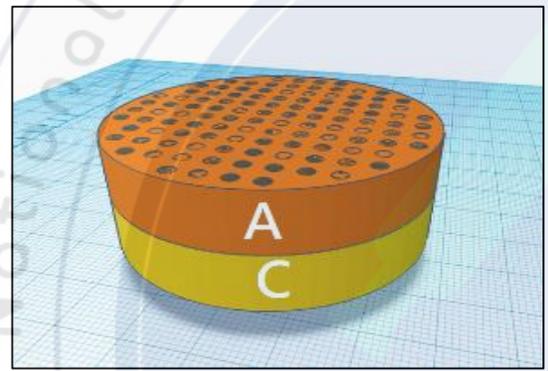
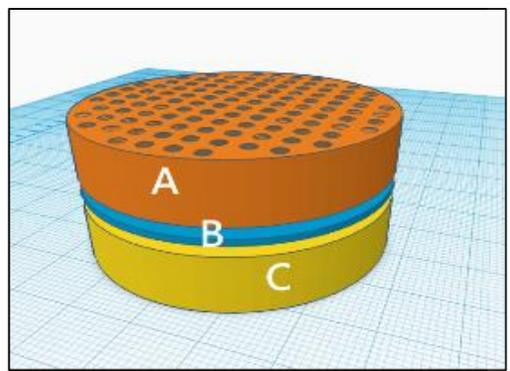


圖11 TYPE 1 & 2

圖12 TYPE 3(對照組)

- TYPE 1 :** 對照組(無口罩)
- TYPE 2 :** 以口罩最外層(PP不織布)作為吸收面
- TYPE 3 :** 以口罩最內層(PP+PE不織布)作為吸收面

音量變化率 (dB) / S

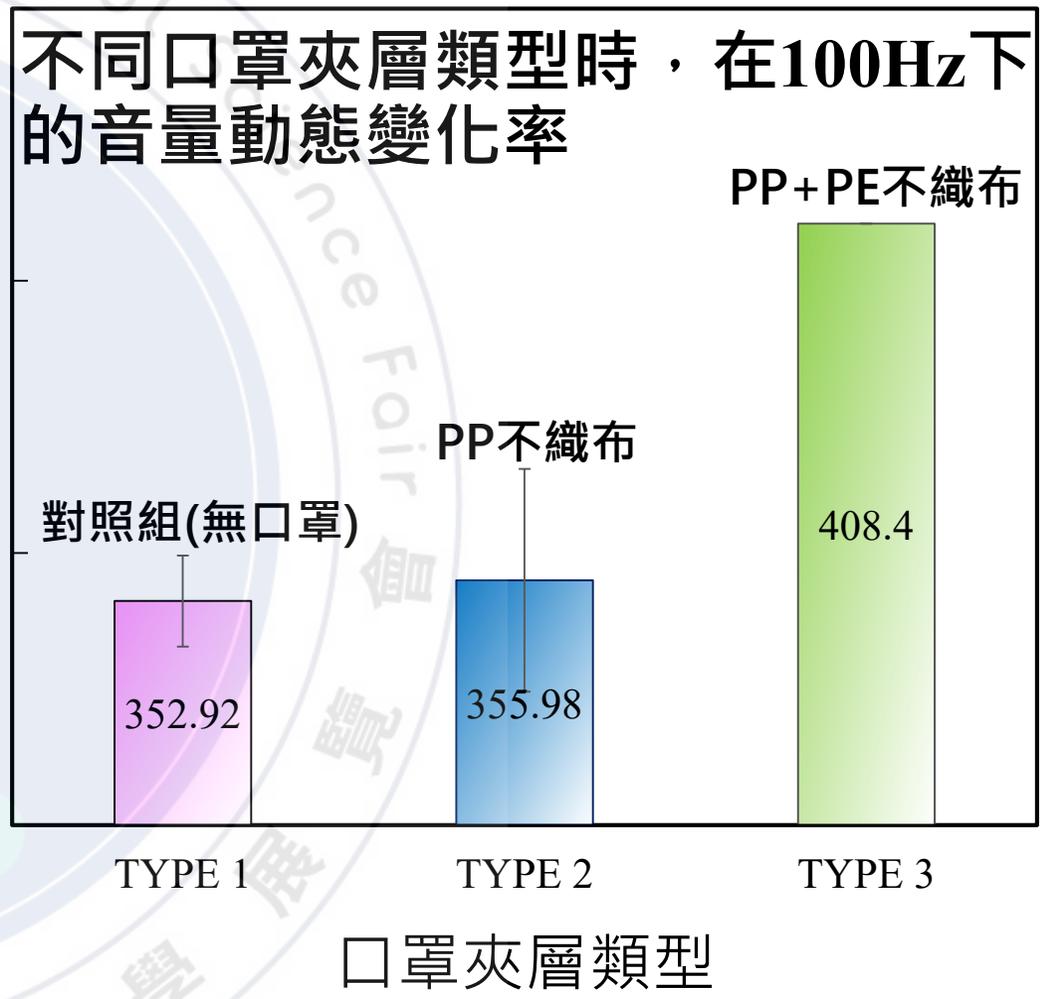


圖13 不同添加口罩方式的音量動態變化率

### III. 校園樹種吸音的比較



一葉松

- 吸收效果佳
- 吸收效果差



桃花心木

黃金串錢柳

圖15 校內樹種最佳與最低音量動態變化率的樹皮表面比較

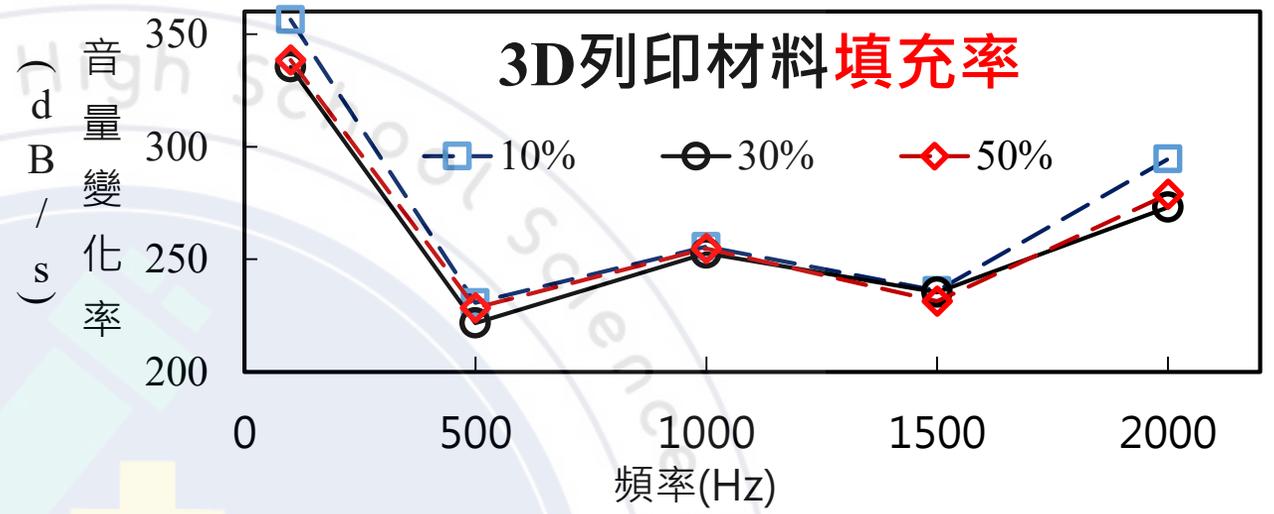


圖14 3D列印材料不同填充率的音量動態變化率

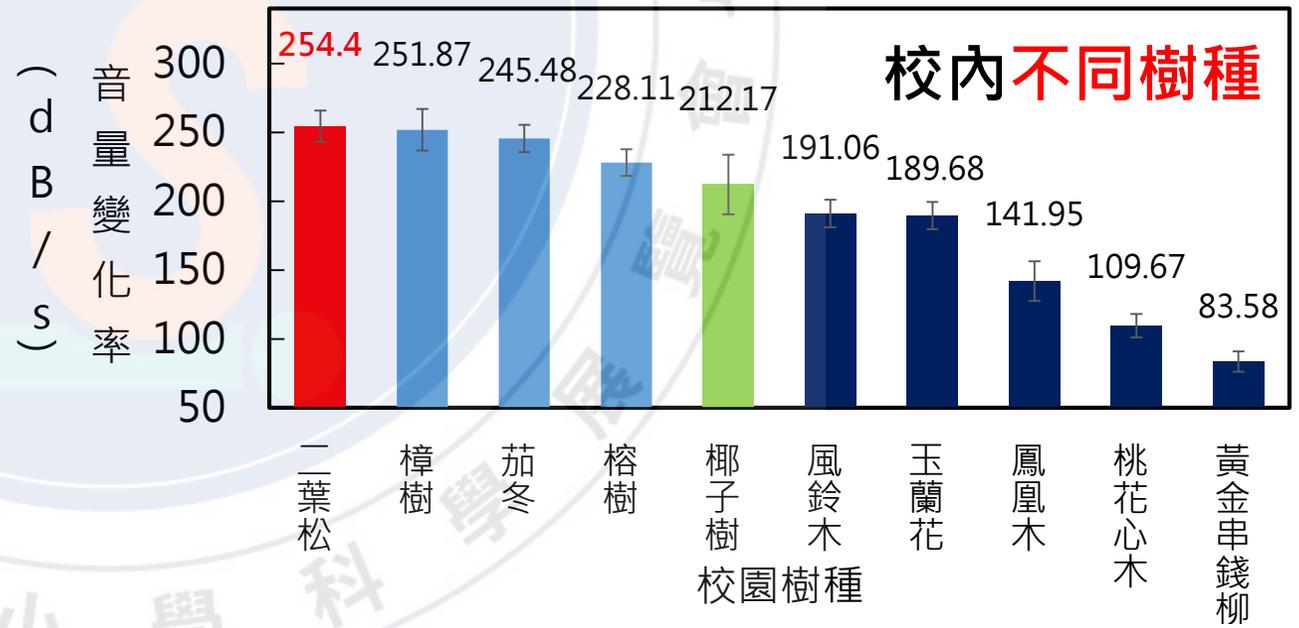


圖16 校內各種樹種在中低頻的音量動態變化率

# 結論 Conclusion

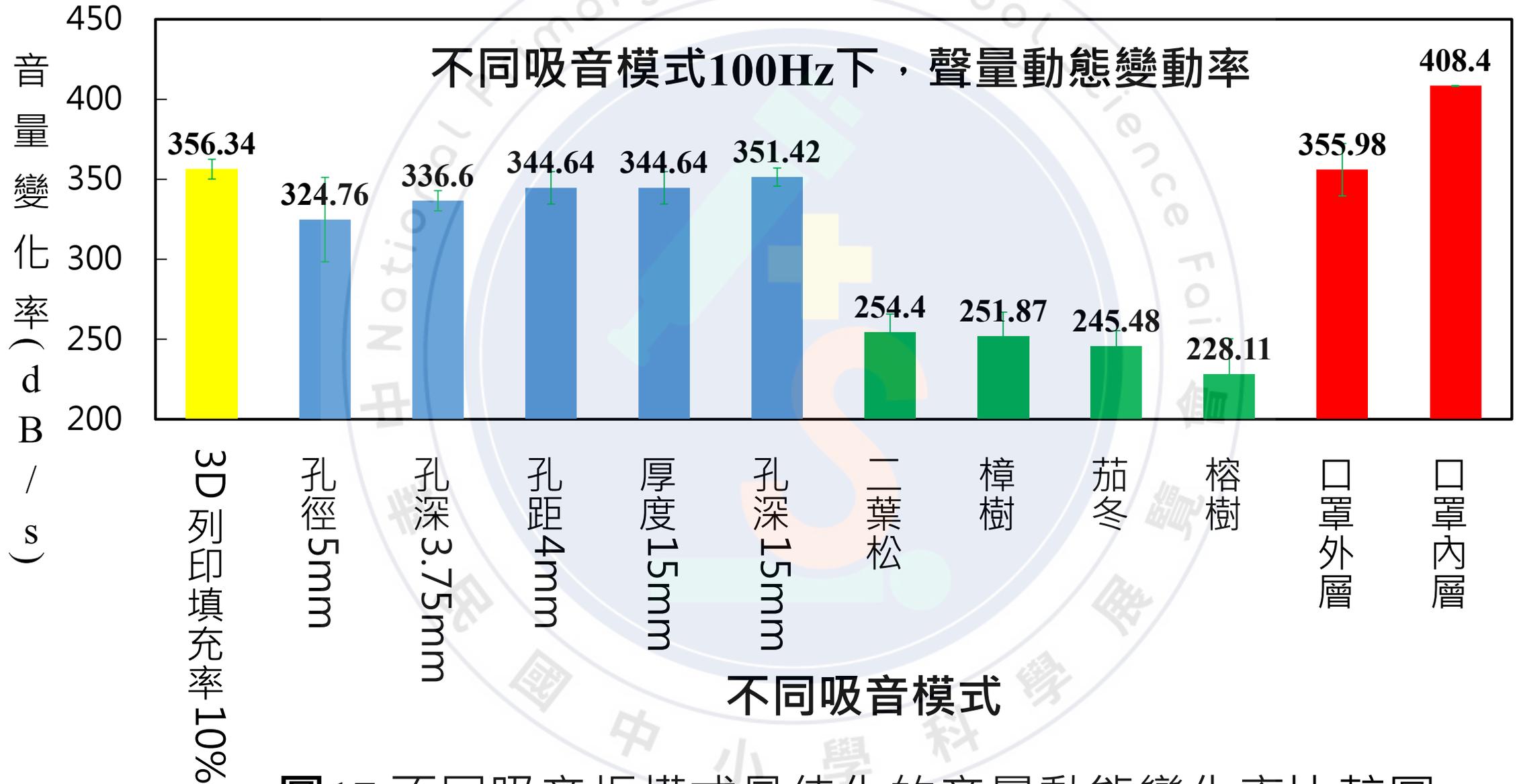


圖17 不同吸音板模式最佳化的音量動態變化率比較圖

# Future Work

- 希望能了解回收口罩的實際狀態，才能進行真正的實際應用。
- 除了校園樹種外，希望也能針對路邊行道樹進行研究。

## References

1. 戴崇峰. (2020年2月27日). 防疫大作戰背後的熔噴不織布. 2022年1月15日 擷取自 全球紡織資訊網:  
<https://www.tnet.org.tw/Article/Detail/26550>
2. 懸鉤子. (2014). 【SONIC II】聲波之傳播原理：共振篇《四上》. FreeSandal.
3. Rubén Maderuelo-SanzAcedo-Fuentes, Francisco José García-Cobos, Francisco José Sánchez-Delgado,Patricia. (2021). The recycling of surgical face masks as sound porous absorbers:Preliminary evaluation. Science of the Total Environment, 頁 786.
4. zadeh , S. Kim, N.X. FangS. (2020). Multi-layer perforated panel absorbers with oblique perforations. Applied Acoustics, 頁 169.