

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學(一)科

052315

## SHOW ME THE ROCK & SHOW ME THE SONIC WAVE

學校名稱：大興學校財團法人桃園市大興高級中等學  
校

作者：  職二 鄭婕庭  職二 蔡仁翔  職二 徐家政	指導老師：  許藝璋  許祐豪
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：聲波、聲壓分布、滅火

## 摘要

本研究期望能藉由探討聲波的相關物理特性，研發出具備環保且使用安全的滅火器。研究過程中，運用程式設計與藍芽無線傳輸的方式，傳輸並測試許多低頻的頻率，並深入探討其聲壓頻譜、聲壓、聲強、聲功率分布等物理特性。經由聲壓頻譜分布可找出最佳（穩定較高）的頻率，藉由聲波物理特性的探討，可瞭解為何聲波處於低頻時具有滅火的特性，再由 3D PRINT 技術設計出周邊輔助的裝置，並完成研究作品。

## 壹、研究動機

有許多特殊的場所與裝置，如博物館、電信機房、典藏文物、書籍、電腦、電器用品等，並不完全適合使用目前廣泛的滅火器（泡沫、乾粉），因為傳統滅火器雖然能有效撲滅火源，但卻也會造成物品（器材）的破壞與環境的汙染。倘若我們能研發出不會破壞物品也不會造成環境汙染的滅火設備，不僅能保護在特殊場所的文物或電器設備，也將是對人們的生活與安全皆有所幫助。

## 貳、研究目的

本研究期待利用聲波的低頻特性，研發出能有效撲滅火源的設備。經由探討聲壓頻譜分布、聲壓、聲強、聲功率等聲波傳遞相關物理特性，找出可有效滅火的頻率範圍與最佳頻率。再利用 3D PRINT 技術設計周邊輔助設備。以期能依理論背景為探討依據之藍圖，做出完善的聲波滅火器。並整理出一系列的设计藍圖，提供給相關領域或有興趣的團隊研究參考用。

## 參、研究設備及器材

軟體:

1.	Arduino Software (IDE)	4.	XYZ Print Software
2.	App Inventor2	5.	EasyEDA
3.	Tinkercad for 3D design		

硬體:

1.	Linkit7697	6.	手機、筆記型電腦
2.	NODE MCU-32S	7.	3D 列印機
3.	ARDUINO UNO (ESP8266+藍芽)	8.	訊號產生器
4.	功率放大器	9.	示波器 (GDS-1102-U)
5.	單體 (喇叭)	10.	聲壓計

輔助設備:

1.	酒精燈+工業酒精	4.	杜邦線、銅線、單芯線
2.	手工具 (螺絲起子、尖嘴鉗、斜口鉗...等)	5.	音源線
3.	焊接工具	6.	

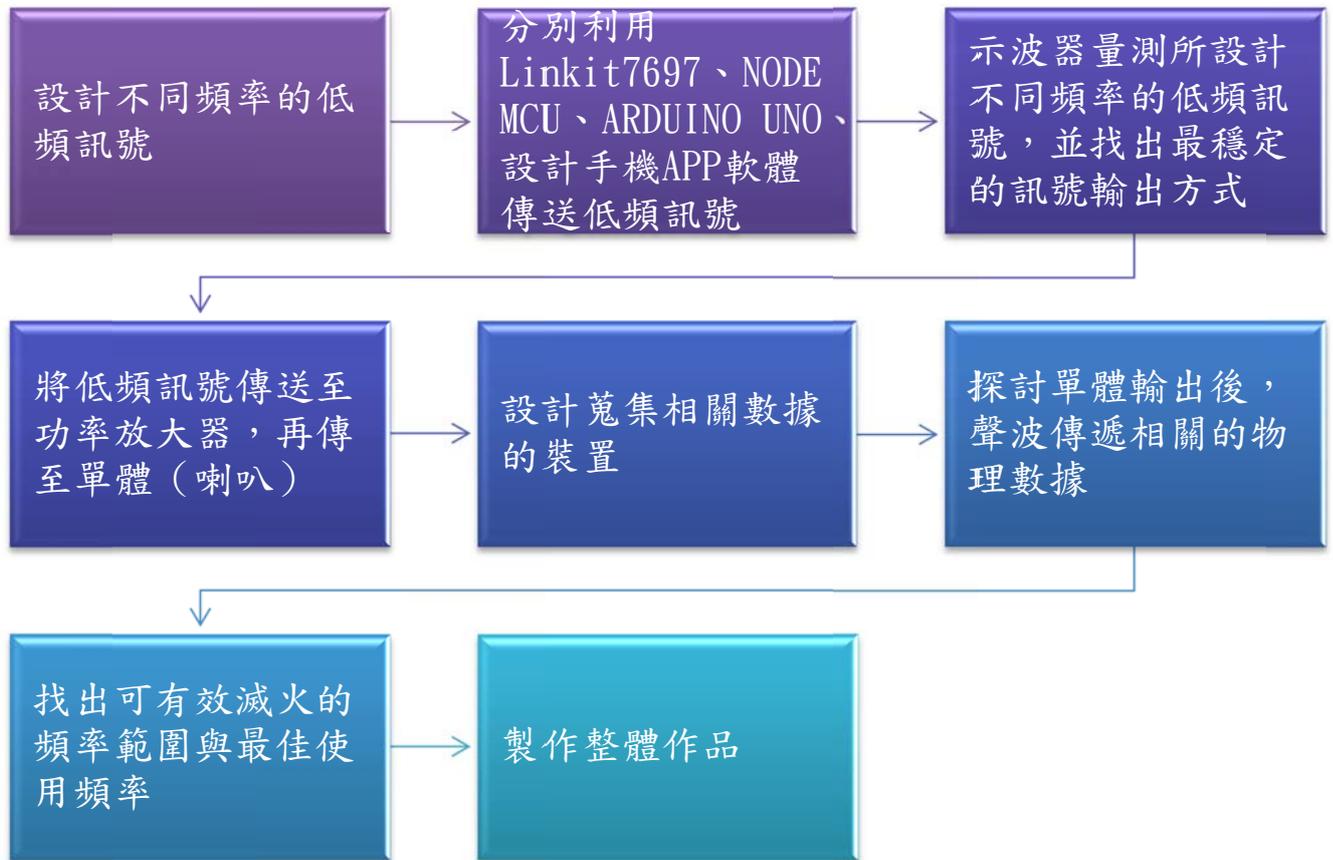
相關器材照片: (圖 1)



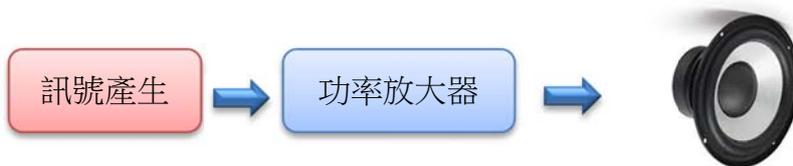
(圖 1) 相關器材

## 肆、研究過程或方法

一、本研究過程結構圖如下所示，可分為以下步驟：



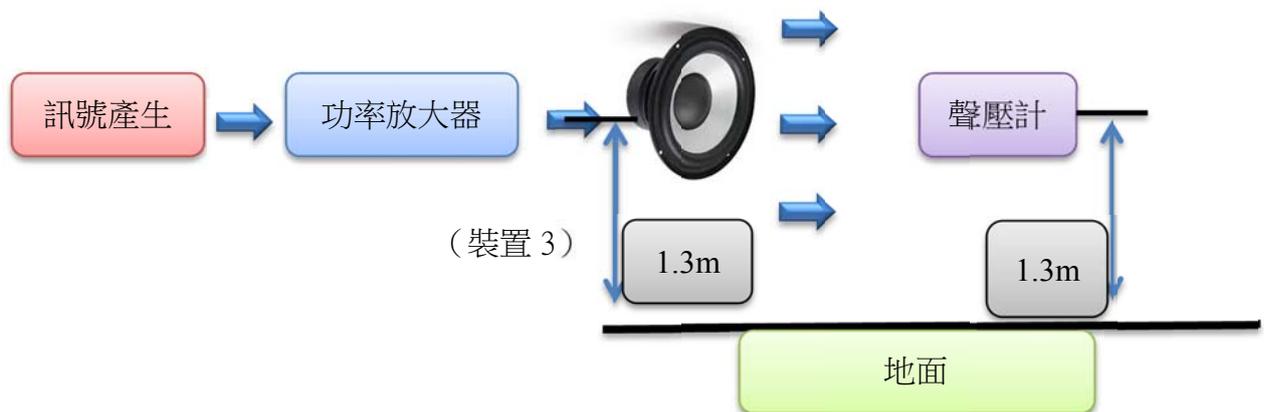
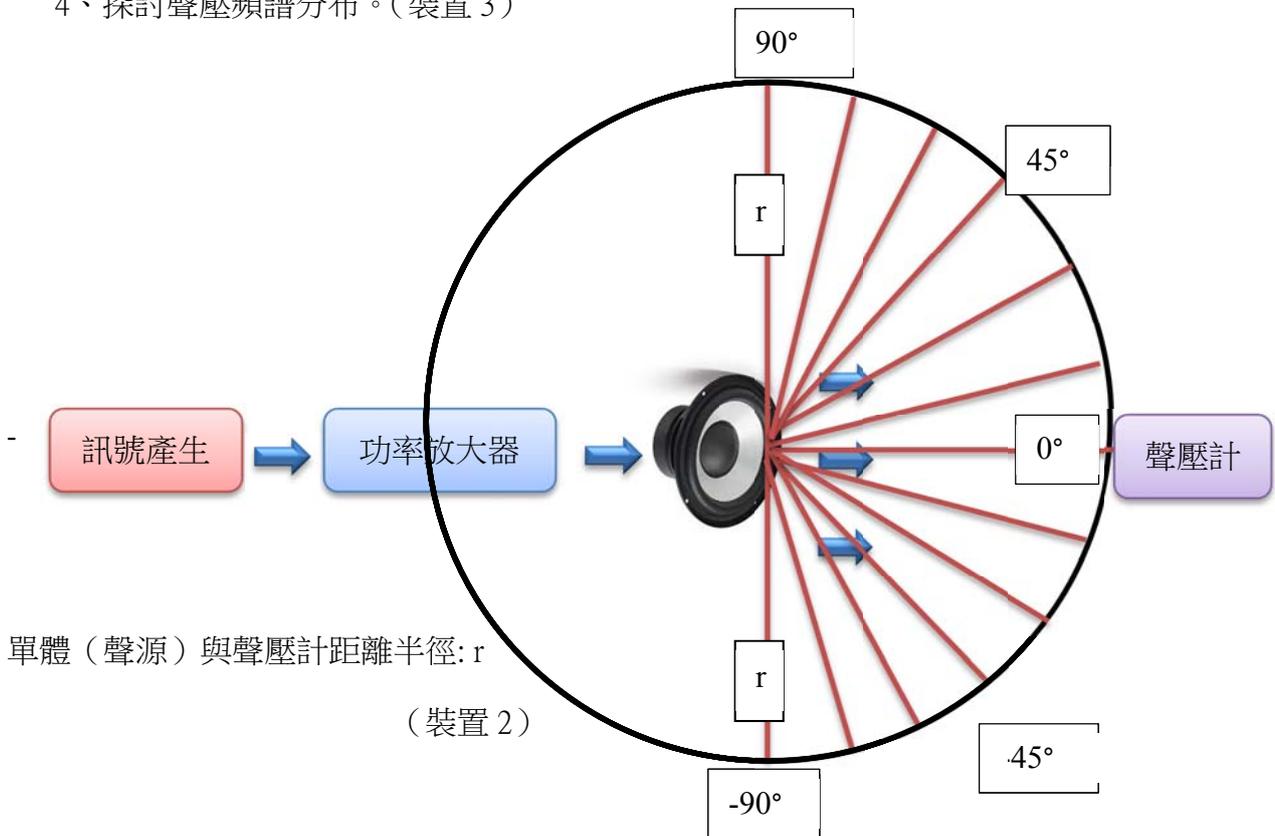
- (一)、分別在 Linkit7697、NODE MCU-32S、ARDUINO UNO (ESP8266+藍芽) 與設計手機 APP 軟體上設計不同頻率的低頻訊號，並輸出。
- (二)、使用示波器量測所設計不同頻率的低頻訊號，比較其穩定性與準確度，並選擇穩定性與準確度較佳的訊號輸出方式。
- (三)、參考 TDA2050 datasheet 繪製電路與焊接。
- (四)、將不同頻率的低頻訊號輸出到功率放大器，再傳送至單體（喇叭）。（裝置 1）



(裝置 1)

- (五)、在固定能量的輸入條件下，探討單體輸出的相關數據，找出本研究的最佳使用頻率。

- 1、探討聲壓分布（1.同半徑不同頻率、2.同頻率不同半徑）。（裝置 2）
- 2、探討聲強分布（1.同半徑不同頻率、2.同頻率不同半徑）。（裝置 2）
- 3、探討聲功率。（1.同半徑不同頻率、2.同頻率不同半徑）。（裝置 2）
- 4、探討聲壓頻譜分布。（裝置 3）



- (六)、設計不同長度的集音裝置（3D PRINT），探討相關的聲壓級物理數據，找出最佳集音裝置。（裝置 2）
- (七)、製作成品與功能測試與修正。
- (八)、完成作品。

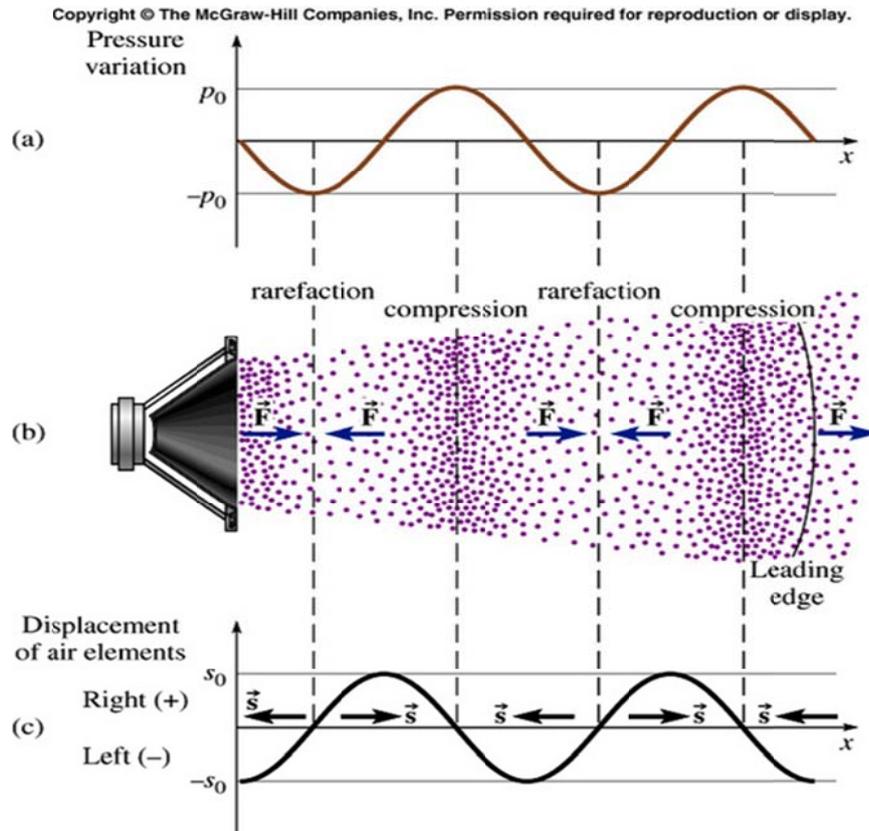
## 二、研究相關理論

(一)、為找出最佳使用頻率，因此本研究將探討聲波相關物理特性。

(聲壓、聲壓級、聲強、聲壓級、聲功率、聲功率級)

1、聲壓 (acoustic pressure, P) :

聲波通過媒質時，由振動所產生的壓力改變量，符號為P，單位是帕斯卡 (Pa)(圖 2-1)



(圖 2-1)

2、聲壓級 (sound pressure level,  $L_p$ ) :

聲壓級 $L_p$ 是另一個量度聲壓大小的常用物理量，其定義如下:

$$L_p = 10 \log (P/P_0)^2 = 20 \log (P/P_0) \Rightarrow P = 2 \times 10^{-5} \times 10^{(L_p/20)}$$

$L_p$  單位: dB,  $P$  (聲壓力值) 單位帕 ( $\text{Pa} = \text{Nt}/\text{m}^2$ ),  $P_0$  (聲壓基準值):  $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$

3、聲強 (sound intensity,  $I$ ) :

定義為單位面積上的聲音功率，亦可定義為單位時間聲音通過單位面積的能量

( $\text{Joule}/\text{sec} \cdot \text{m}^2$ )

4、聲強級 ( sound intensity level,  $L_I$ ) :

聲壓級 $L_p$ 是另一個量度聲強大小的常用物理量，其定義如下:

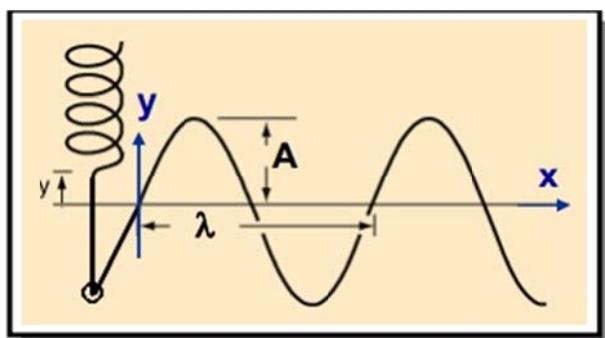
$$SIL=L_I=10\log ( I/I_0 ) \quad I_0:10^{-12}W/ m^2 \circ$$

$$L_I=10\log I+120dB \circ$$

5、聲壓 ( acoustic pressure,  $P$ ) 與聲強 ( sound intensity,  $I$ ) 的關係

(1)、從大學普通物理學波長與頻率 ( wavelength and Frequency ) 章節中找到相關理論。

當聲波以平面波、球型波、圓柱波的形式傳遞時，只要測出聲壓的大小值，即可利用聲波方程式得到聲強的大小值。(以下為以平面波為範例) (圖 2-2)



(圖 2-2)

平面波聲波方程式  $P=y ( x,t ) = A \sin ( kx - \omega t )$  (t時刻，x 位置處的繩子橫向位移)

k:波數= $2 \pi / \lambda$   $\lambda$ :wavelength  $\omega$ :震動的角頻率

(2)、將上述平面波方程式  $P=y ( x,t ) = A \sin ( kx - \omega t )$  帶入聲音波動方程式

(以下為推演後，並求得 I、P 之間的關聯):

$$(\partial P/\partial x) = -\rho_0 (\partial \mu/\partial t)$$

$\mu$ :空氣中分子震動的速度， $\rho_0$ :空氣密度

$$\int \partial P/\partial x dt = -\rho_0 \mu$$

$$-((Ak) / \omega) \sin ( kx - \omega t ) = -\rho_0 \mu$$

$$k = \omega / C_0 \Rightarrow (A/C_0) \sin ( kx - \omega t ) = \rho_0 \mu$$

$$P = \rho_0 C_0 \mu \Rightarrow \mu = P / (\rho_0 C_0)$$

再將  $\mu = P / (\rho_0 C_0)$  帶入聲強  $I = P \mu$  的定義中

$$\text{可得 } I = P \mu = P ( P / (\rho_0 C_0) ) = P^2 / (\rho_0 C_0)$$

所以得證  $I = P^2 / (\rho_0 C_0)$  單位  $W/m^2$   $\rho_0 C_0 = 415.68$

$\rho_0$  是聲傳波介質的密度，空氣密度為： $\rho_0 = 1.21 \text{ kg/m}^3$ （在 20 度時）。

$C_0$  是聲傳波的速度，當溫度為 20 度（ $C_0 = 331.4 + 0.607t$ ）， $C_0$  為  $343.54 \text{ m/s}$ 。

6、 $k$ 、 $\lambda$ 、 $\omega$ 、 $f$ 、 $T$  之間的關聯（以下為推演後，並求得  $k$ 、 $\lambda$ 、 $\omega$ 、 $f$  之間的關聯）：

(1)、 $k$ （角波數 angular wave number）：

令某個時間點為  $t$ ， $x$  與  $x + \lambda$  之處的波有同相的位移  $A$

取  $t=0$ ，則

$$A \sin kx = A \sin k(x + \lambda) = A \sin(kx + k\lambda)$$

由於  $\sin$  的週期為  $2\pi$ ： $k\lambda = 2\pi$   $k = (2\pi) / \lambda$

(2)、 $\omega$ （角頻率 angular frequency）、 $f$ （頻率 frequency）：

某處之  $x$  在  $t$  與  $t+T$  時刻位移  $A$  應完全相同

取  $x=0$ ，則

$$-A \sin \omega t = -A \sin \omega(t+T) = -A \sin(\omega t + \omega T)$$

由於  $\sin$  的週期為  $2\pi$ ： $\omega T = 2\pi$   $\omega = (2\pi) / T$ ， $f = 1/T = (\omega / (2\pi))$

7、聲功率（Sound Power,  $W$ ）與聲功率級（Sound Power level,  $L_w$ ）：

聲源在單位時間內輻射的總的聲能量叫聲源輻射功率（即聲功率），單位  $W$ 。

$$W = I \cdot 4\pi r^2$$

聲功率位準  $L_w$  或稱聲功率級是聲音的實際功率  $W$  與參考功率  $W_0$  之比，取以 10 為底的對數，再乘以 10，單位為分貝：

$$L_w = 10 \log (W/W_0) \quad W_0 = 10^{-12} W \text{ (dB)}$$

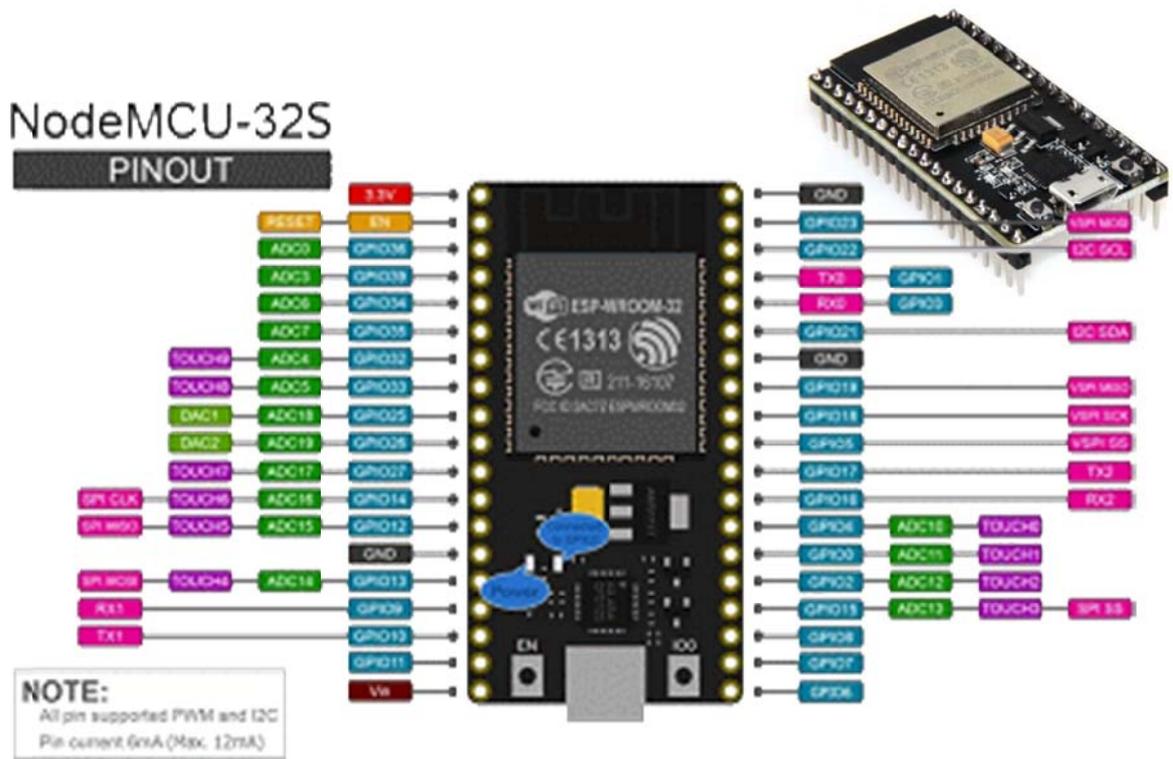
$$\Rightarrow L_w = 10 \log W + 120 \text{ (dB)}$$

(二)、硬體介紹

選用聯發科晶片 Linkit7697·NODE MCU-32S 與 ARDUINO UNO 做為低頻訊號的發送晶片，主要是因為這三種晶片模組皆可使用 ArduinoSoftware (IDE) 來撰寫程式。以下便是對這三種模組硬體方面之簡介。

1、聯發科晶片 Linkit7697（圖 2-3-1）（圖 2-3-2）

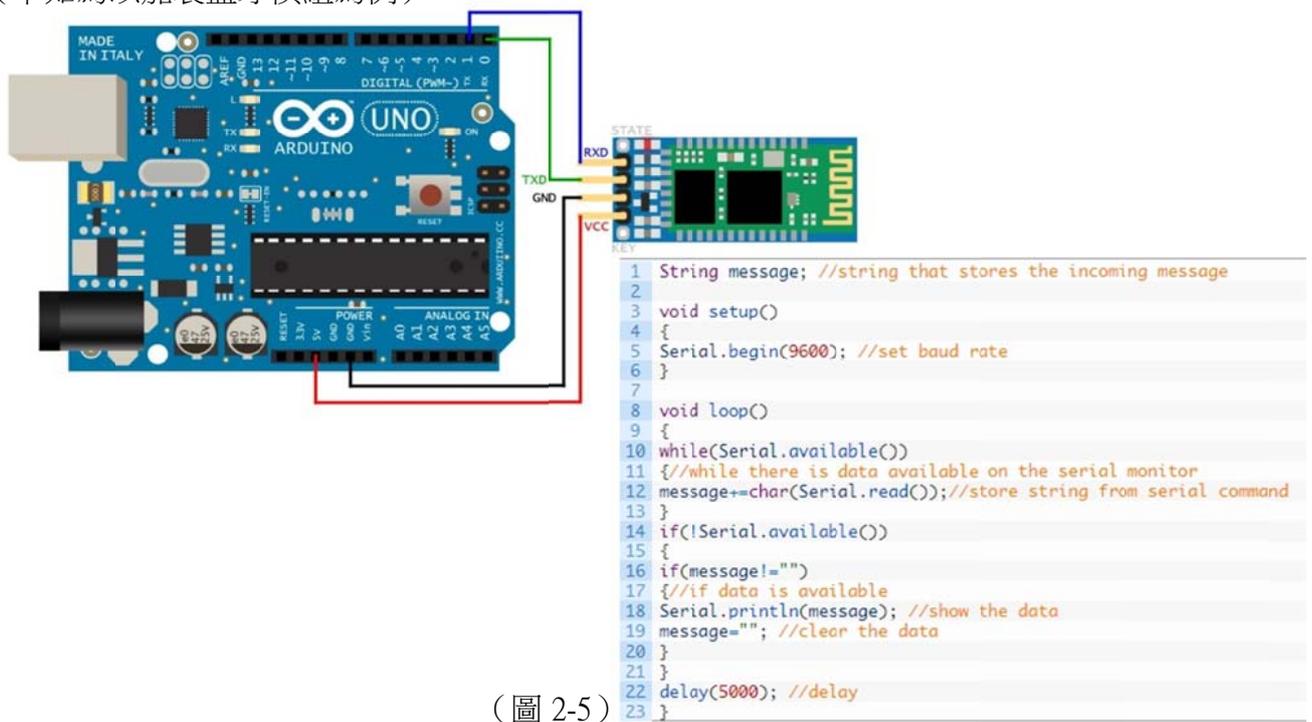




(圖 2-4)

### 3、ARDUINO UNO (圖 2-5)

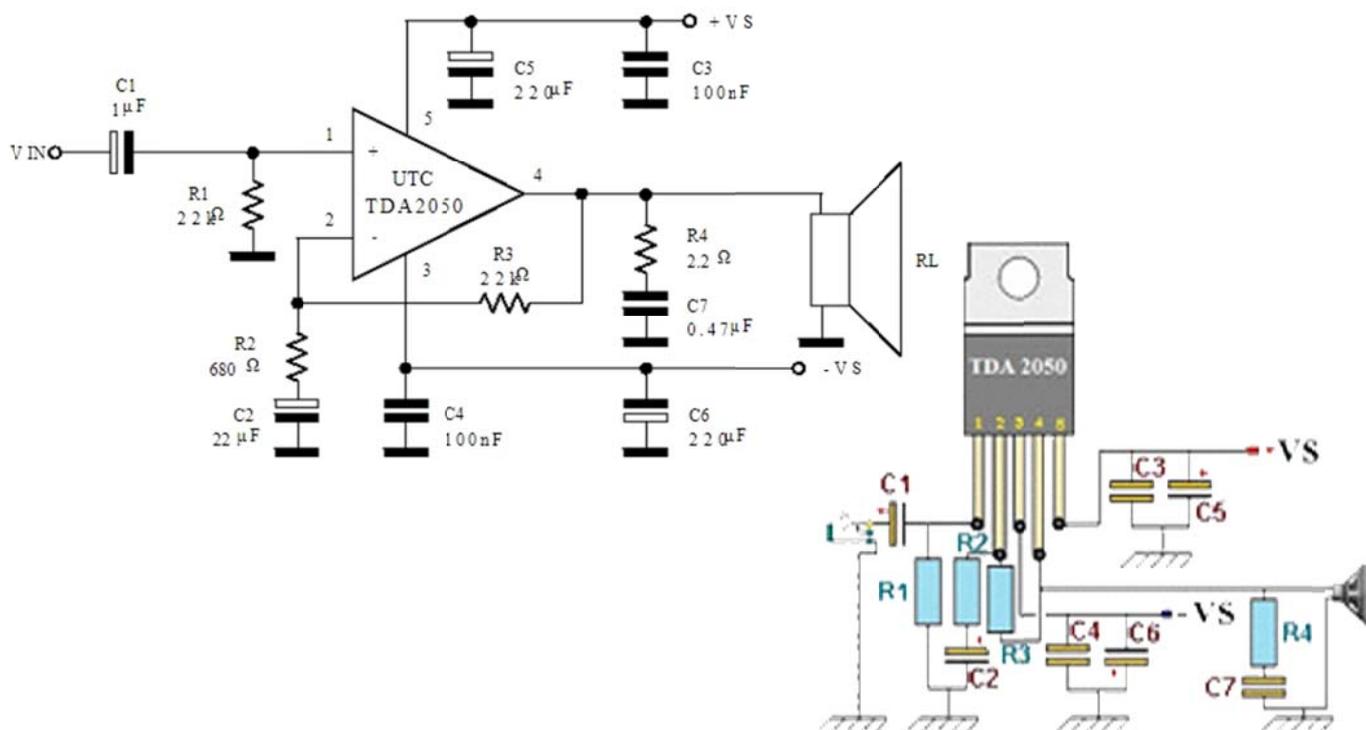
Arduino Uno 是基於 ATmega328P 的微控制器開發板。它有 14 個數字輸入/輸出引腳 (其中 6 個可用作 PWM 輸出), 6 個模擬輸入腳, 16 MHz 晶振, USB 連線, 電源插孔, ICSP 接頭和復位按鈕。若是需要藍芽與 WIFI 功能, 可另外加裝藍牙模組(HC05、HC06)與 WIFI(ESP8266)。(下如為以加裝藍牙模組為例)



(圖 2-5)

#### 4、功率放大器電路（圖 2-6）

本研究採用的功率放大器電路，如圖所示。由電晶體 TDA2050DataSheet 可知，TDA2050 主要是設計於負責發送低頻的聲段，可下探到 22Hz。功率可由 50W~150W。是目前使用廣泛且紋性極佳的電晶體。其放大倍率可由  $R3/R2$  的值來決定。



(圖 2-6)

## 伍、研究結果

### 一、硬體選擇:

為方便切換傳輸訊號，所以設計藍芽連接方式，輸出不同的低頻頻率(30Hz、40Hz、50Hz、60Hz、70Hz、80Hz)分別給 Linkit7697、NODE MCU-32S、ARDUINO UNO 做測試。另外也使用手機 APP 軟體，直接從手機輸出低頻率的訊號。以上便是本研究的訊號傳輸方式。

經由示波器量測後，發現所得到的低頻訊號皆正確且穩定，因此本研究採用較大眾化的手機 APP 直接輸出方式進行研究。

### 二、探討聲波物理量

研究物理特性相關數據，有助於我們今後的探討。為探討聲壓分布、聲強分布、聲功率與聲壓頻譜分布等物理特性，因此設計出幾組裝置，以便在研究時蒐集相關數據。

(一)、在固定能量的輸入條件下，探討單體輸出的相關物理數據。

1、探討聲壓分布(1.同半徑不同頻率、2.同頻率不同半徑)(裝置 2)。

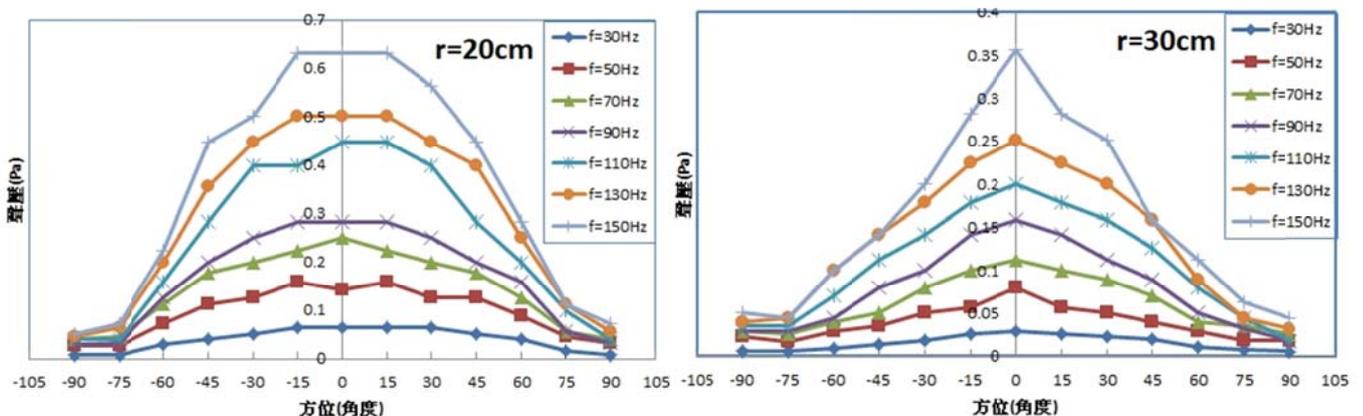
測量範圍設定: (用於聲壓、聲強數據探討) (表 1)

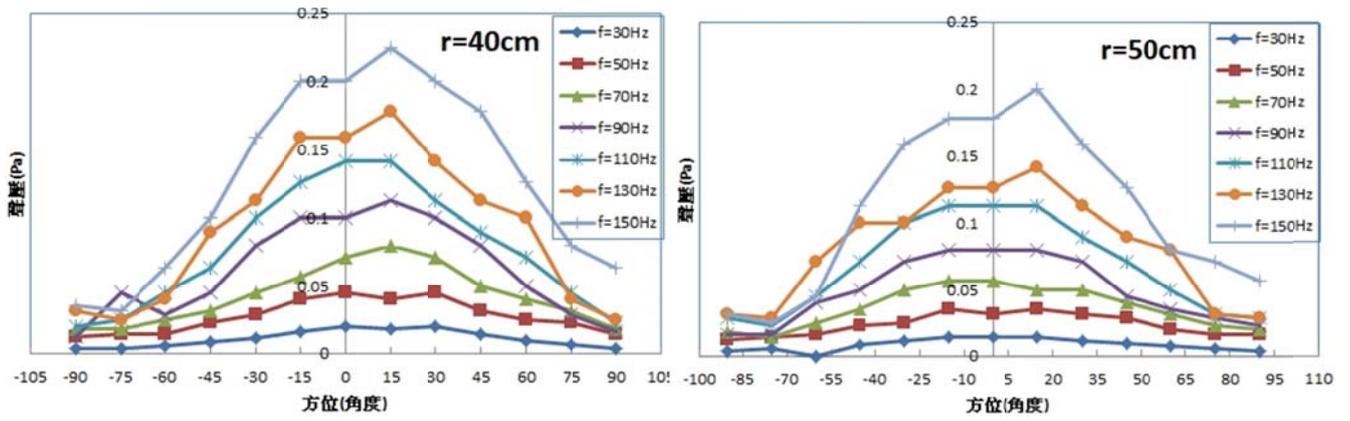
半徑(cm)	20	30	40	50			
頻率(Hz)	30	50	70	90	110	130	150

STEP1:將聲源與聲壓計設定距離半徑為  $r$ 。

STEP2:聲壓計沿著此距離半徑往 $+90^\circ$ 方向與 $-90^\circ$ 方向移動。(每 $15^\circ$ 為一量測區間)

以下為同半徑不同頻率量測結果(圖 3-1)-聲壓  $P_0$  (聲壓基準值): $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$

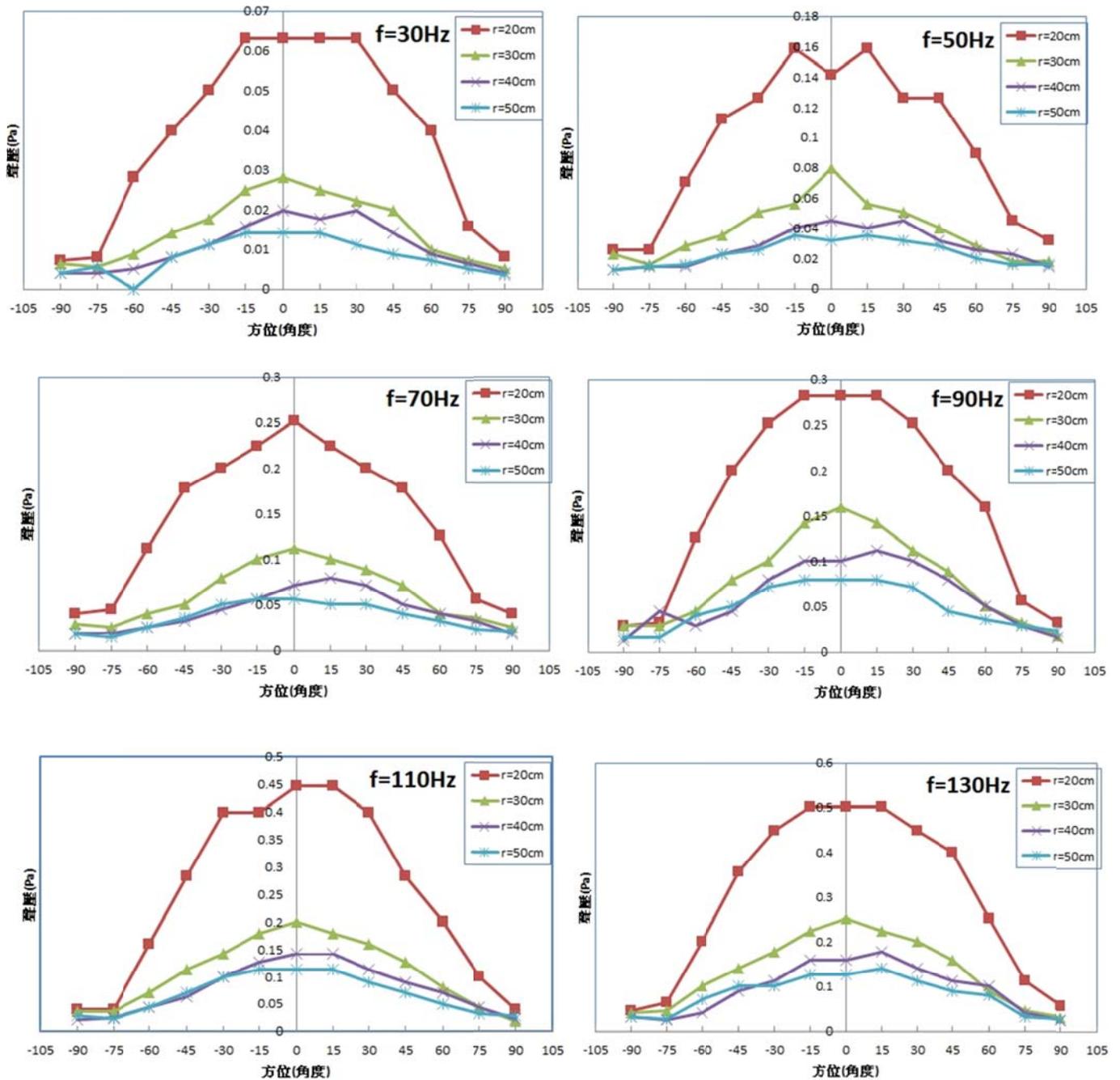


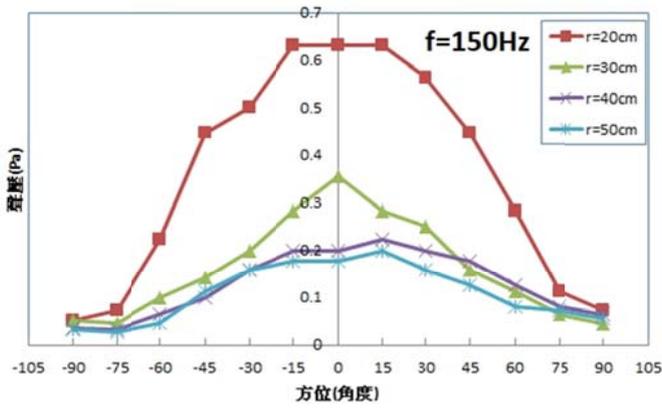


(圖 3-1)

以下為同頻率不同半徑量測結果 (圖 3-2) - 聲壓

$P_0$  (聲壓基準值) :  $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$





(圖 3-2)

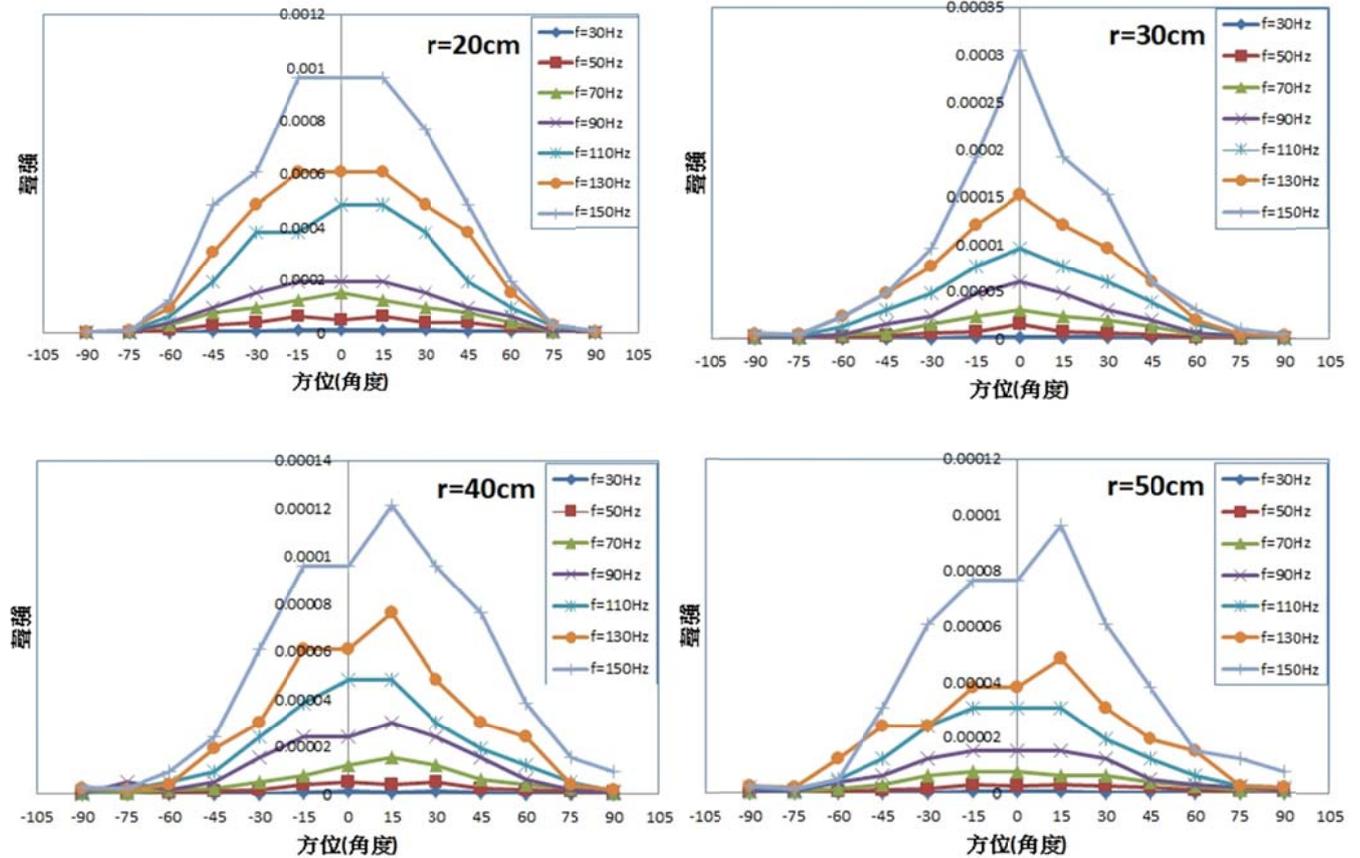
2、探討聲強分布 (1.同半徑不同頻率、2.同頻率不同半徑)。(裝置 2)

STEP1:將聲源與聲壓計設定距離半徑為  $r$ 。

STEP2:聲壓計沿著此距離半徑往 $+90^\circ$ 方向與 $-90^\circ$ 方向移動。(每  $15^\circ$  為一量測區間)

以下為同半徑不同頻率量測結果 (圖 3-3) -聲強

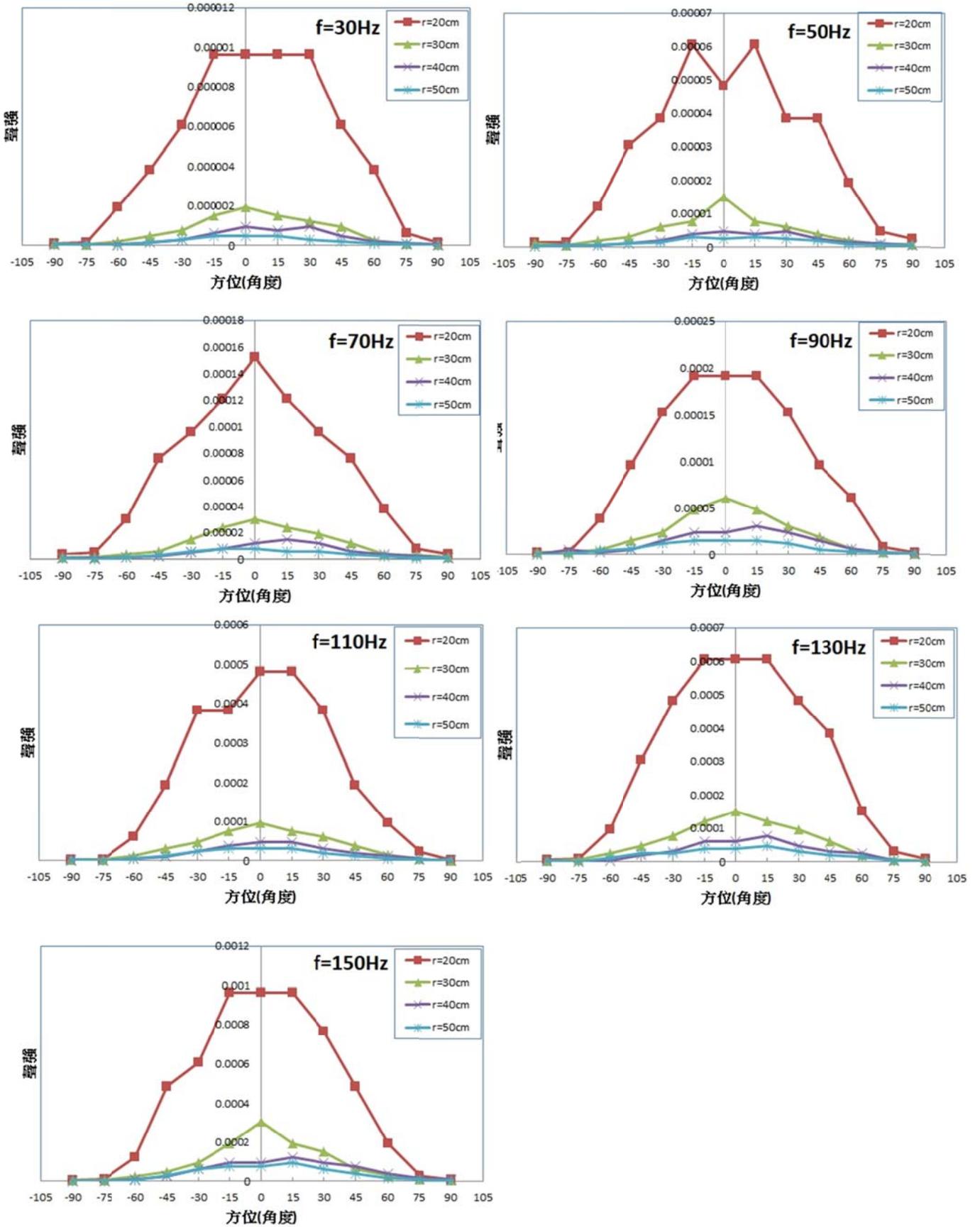
$I_0$  聲強基準值:  $10^{-12} \text{W/m}^2$



(圖 3-3)

以下為同頻率不同半徑量測結果（圖 3-4）-聲強

$I_0$  聲強基準值:  $10^{-12} \text{W/m}^2$

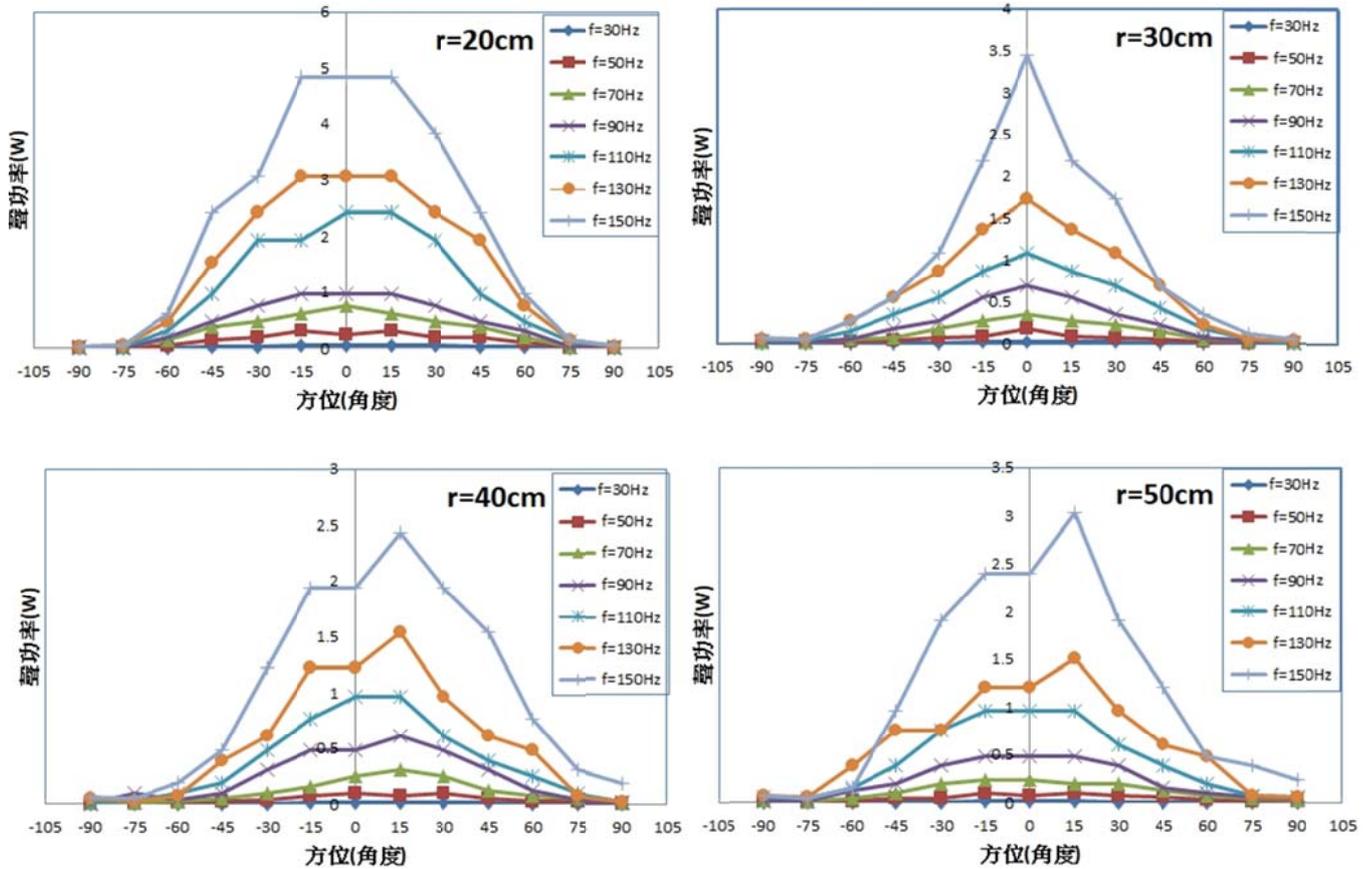


(圖 3-4)

3、探討聲功率（1.同半徑不同頻率、2.同頻率不同半徑）。

以下為同半徑不同頻率量測結果（圖 3-5）-聲功率

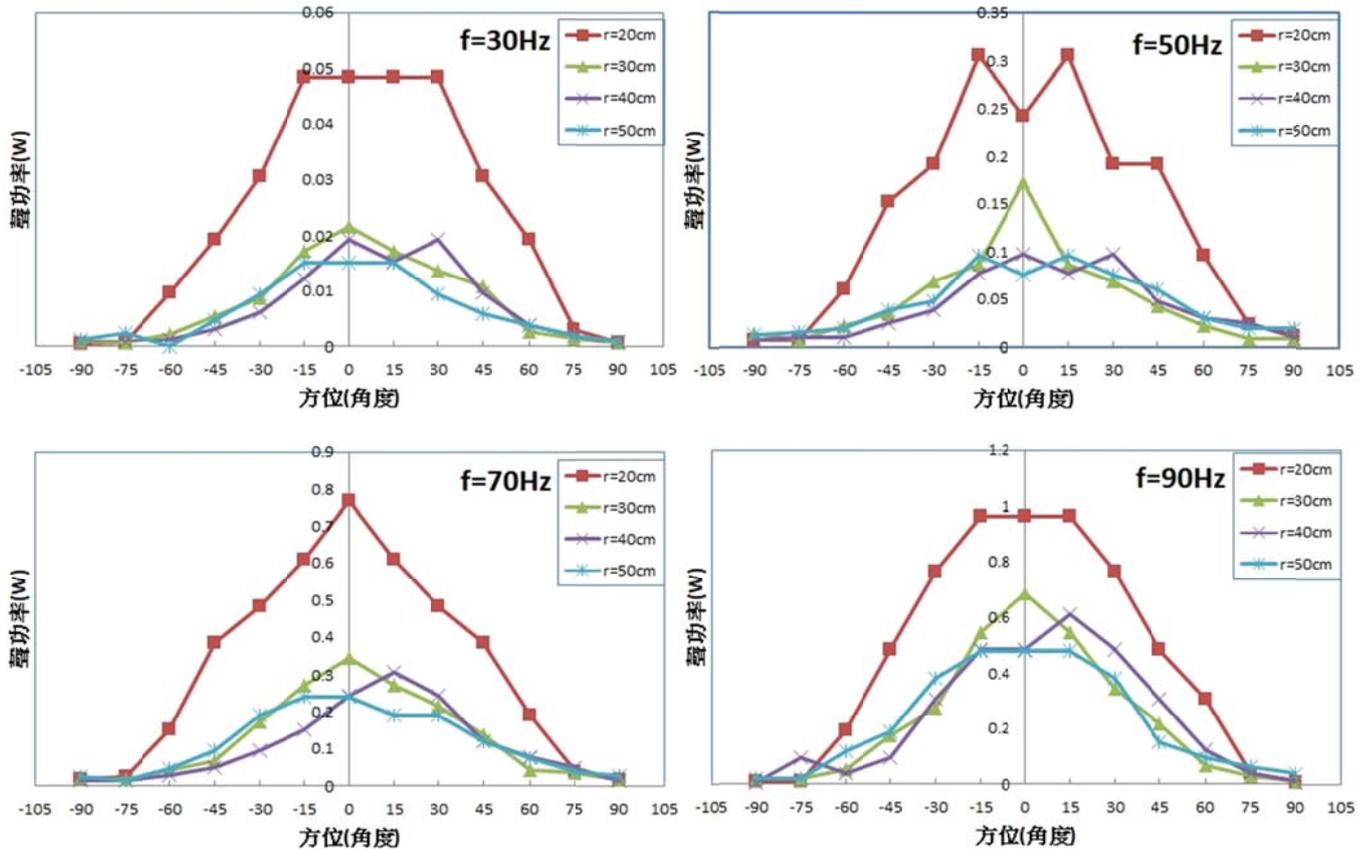
$W_0$ 聲功率基準值: $10^{-12}$ W (dB)

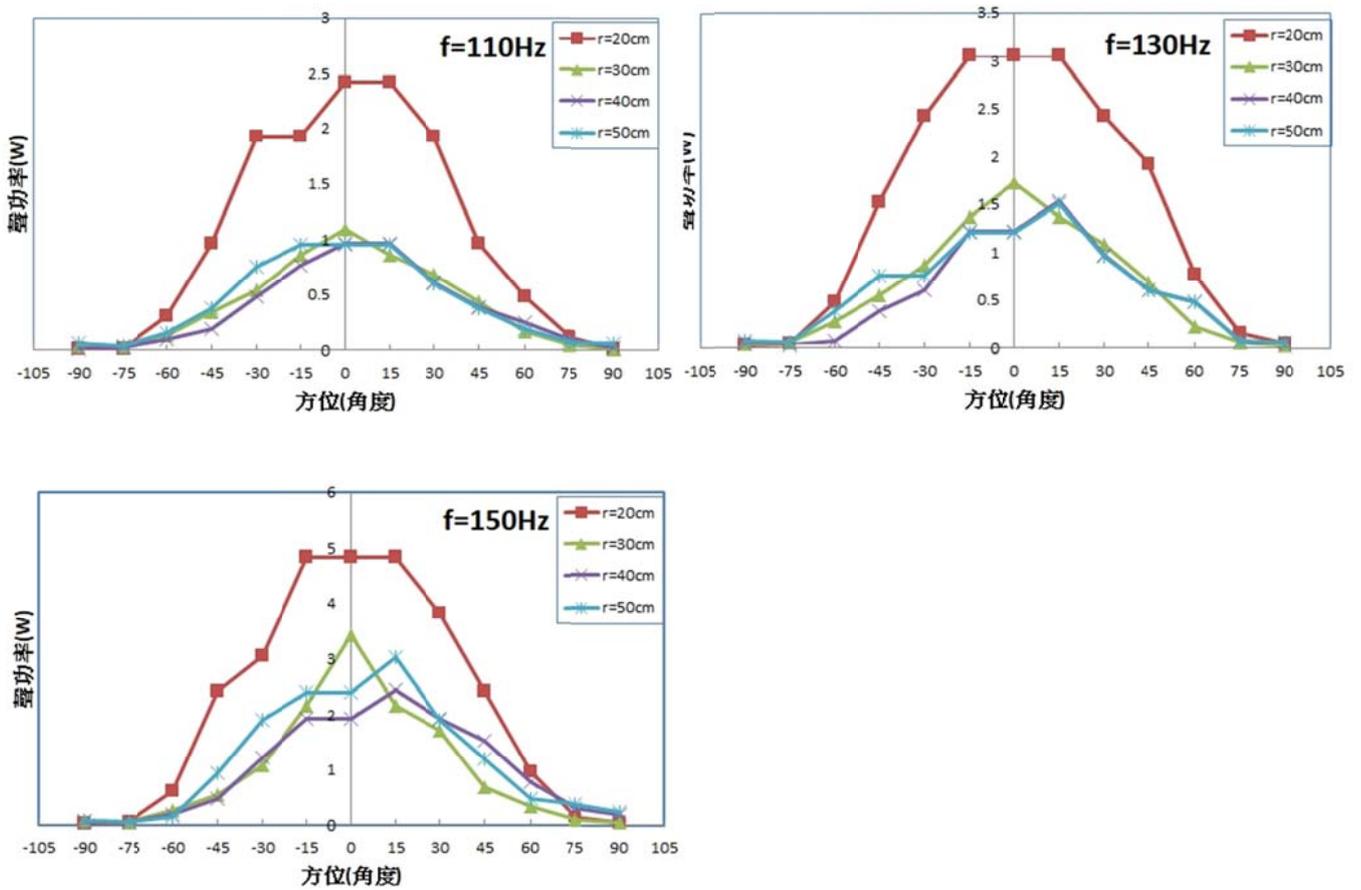


(圖 3-5)

以下為同頻率不同半徑量測結果（圖 3-6）-聲功率

$W_0$ 聲功率基準值: $10^{-12}$ W (dB)



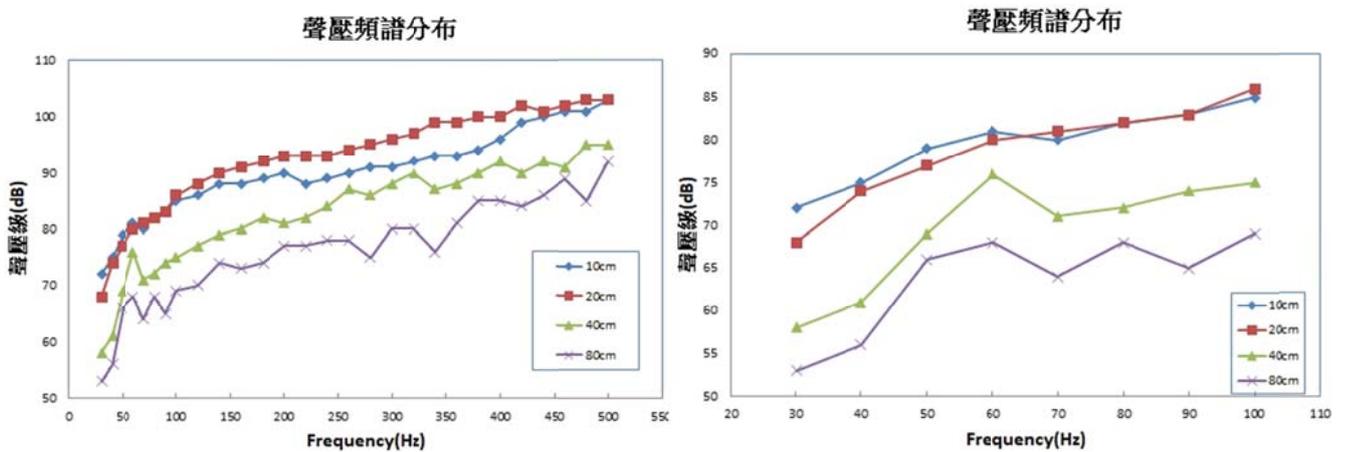


(圖 3-6)

4、探討聲壓頻譜分布:如裝置 3 所示，將聲壓計與單體水平放置並距離地面 1km，量測頻率範圍如下:

30Hz~500Hz。(30Hz ~100Hz) /每 10Hz 一個區間、(100Hz ~500Hz) /每 20Hz 一個區間。

聲源與聲壓計設定距離分別為 10cm、20cm、40cm、80cm。量測後結果如 (圖 3-7) 所示:

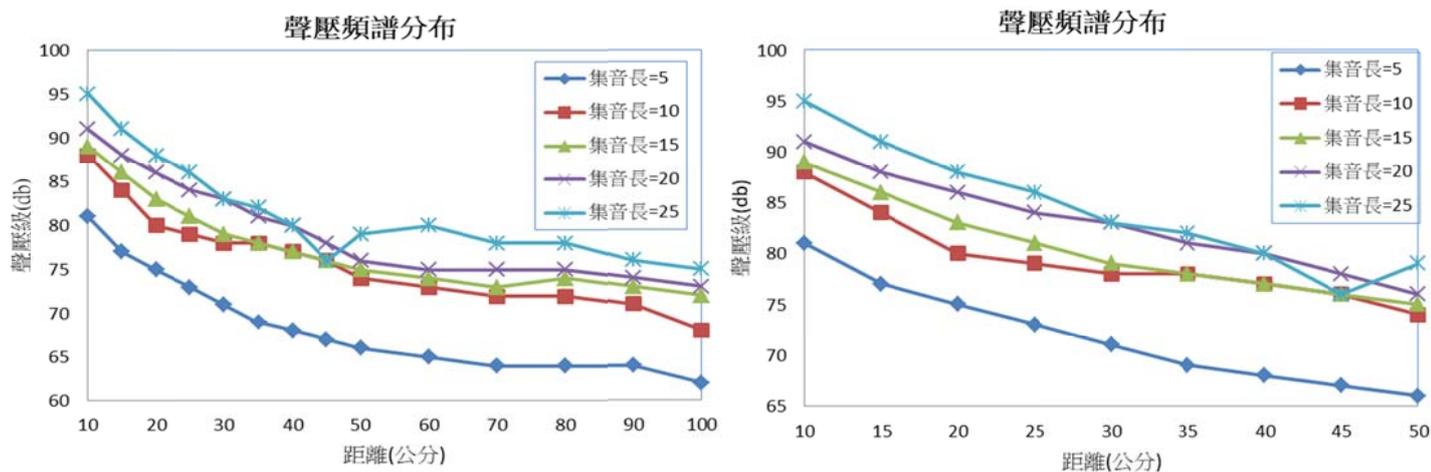


(圖 3-7)

(二)、在固定頻率(50Hz)的輸入條件下，探討集音裝置長度的相關物理數據。

1.探討聲壓頻譜分布:如裝置 3 所示，將聲壓計與單體加裝集音裝置水平放置並距離地面 1.3m，量測頻率範圍如下:

5 公分~25 公分，每隔 5 公分一個區間。集音裝置與聲壓計設定距離分別為 10cm~100cm。  
(10cm~50cm)/每 5cm 一個區間、(50cm~100cm)/每 10cm 一個區間。量測後結果如(圖 3-8)所示:



(圖 3-8)

## 陸、討論

一、聲壓計與單體皆水平放置，且架高離地面約 1 公尺，此舉乃是為避免（減小）地面的反射波對測量所造成的影響。

二、為避免共振頻率所引起的誤差，集音裝置材質的選用十分重要。本研究採用 3D PRINT-PLA 材質（自然震動頻率（Hz） 約為 3Hz）設計，因為 3Hz 與研究所使用的頻率相差很大，所以能有效減少因共振頻率所引起的誤差。且 PLA（聚乳酸）為高分子材料，其緻密度高，所以較不會吸收聲波。

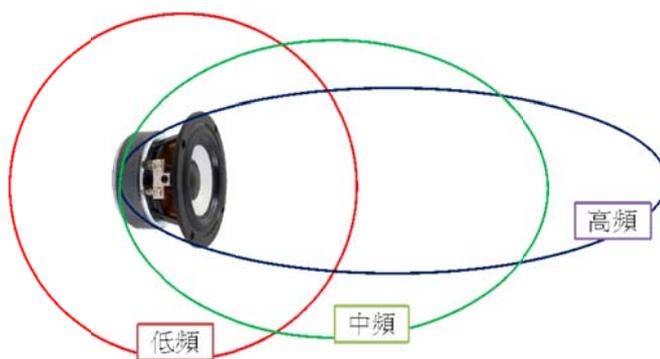
三、聲波在介質為空氣傳遞過程中，為一種疏（低頻）密（高頻）波，因此假設在低頻（疏）時，相對空氣分子（助燃氣體）較少。本研究裝置可持續產生一種連續不間斷的低頻聲波，亦可看成因低頻聲波而形成一個類真空區（無助燃氣體），進而達到有效滅火的效果。

四、分別由聲壓分布與聲強分布的研究數據中，可以觀察到，當頻率越高且方位角越小時，可得到較高的聲壓與聲強。在頻率較低時，此種現象並不明顯，因此當聲壓與聲強在低頻時受方位角的影響較小。

五、加裝集音裝置後，其滅火效果較明顯，主要是因為有：

（一）、由聲壓分布分析中得知，相較於高頻而言，當頻率於低頻時，聲壓較不具有方向性，也就是聲波於低頻時指向性較差，能量容易往四周圍發散出去。（圖 4-1 示意）

（二）、加裝集音裝置，利用狹管效應原理，可增加聲波的指性向與能量的集中輸出。

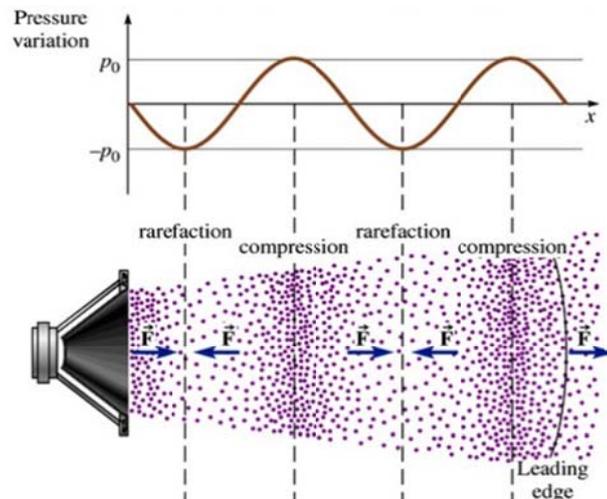


（圖 4-1）

六、30Hz~100Hz 皆能有效撲滅火源，其中 30Hz~60Hz 有效範圍約為 1m，60~100Hz 的有效範圍約為 70cm。可由聲波  $V$ （聲速）= $f$ （頻率）\*  $\lambda$ （波長）的特性推論，此與波長有關，頻率越高，則波長越短，相對的，頻率越低，則波長越長。

## 柒、結論

- 一、由聲壓頻譜分布，於距離改變條件下，50Hz 的變化較小，相對而言較穩定，故選擇 50Hz 為本研究之最佳輸出頻率。(不同單體，會有不同的效果)
- 二、30Hz~100Hz 皆能有效撲滅火源，其中 30Hz~60Hz 有效範圍約為 1m，60~100Hz 的有效範圍約為 70cm。(不同單體，會有不同的效果)
- 三、就頻率而言，頻率越高者，其聲壓的方向性越明顯。頻率越低者，其聲壓的方向性越不明顯。聲波於低頻時指向性較差，能量容易往四周圍發散出去(圖 4-1)。
- 四、就距離而言，頻率越高者，其聲壓的方向性不會因為距離的增加而有太大的變化，但若為低頻時，其聲壓的方向性會隨著距離的增加而變得越不明顯。
- 五、不同單體(歐姆不同、瓦數不同)皆可經由本研究的聲壓頻譜分布找出最佳輸出頻率。
- 六、由研究數據得到，當聲波的頻率越低時，其聲壓(P)則越小，則氣體密度也相對越小(助燃氣體較少)。當聲波的頻率越高時，其聲壓(P)則越大，則氣體密度也相對越大(助燃氣體較多)。(圖 5-1)



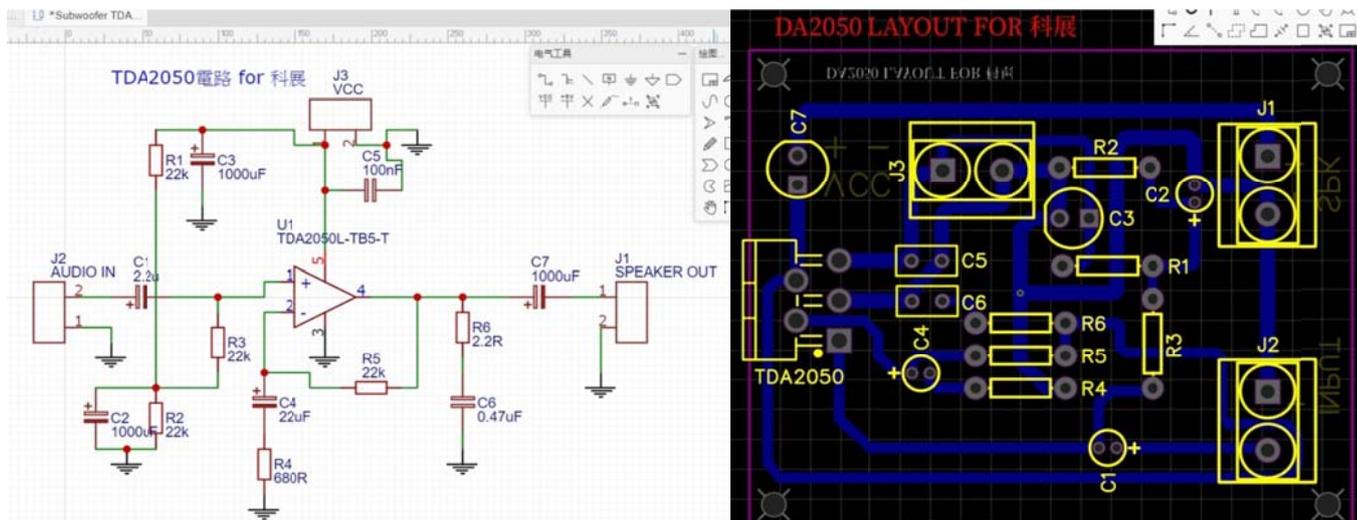
(圖 5-1)

七.本研究之聲波相關物理數據取得方式與推論皆可廣泛應到用相關研究，並希望本研究之成果與研究數據能對有興趣的研究團隊有所幫助。

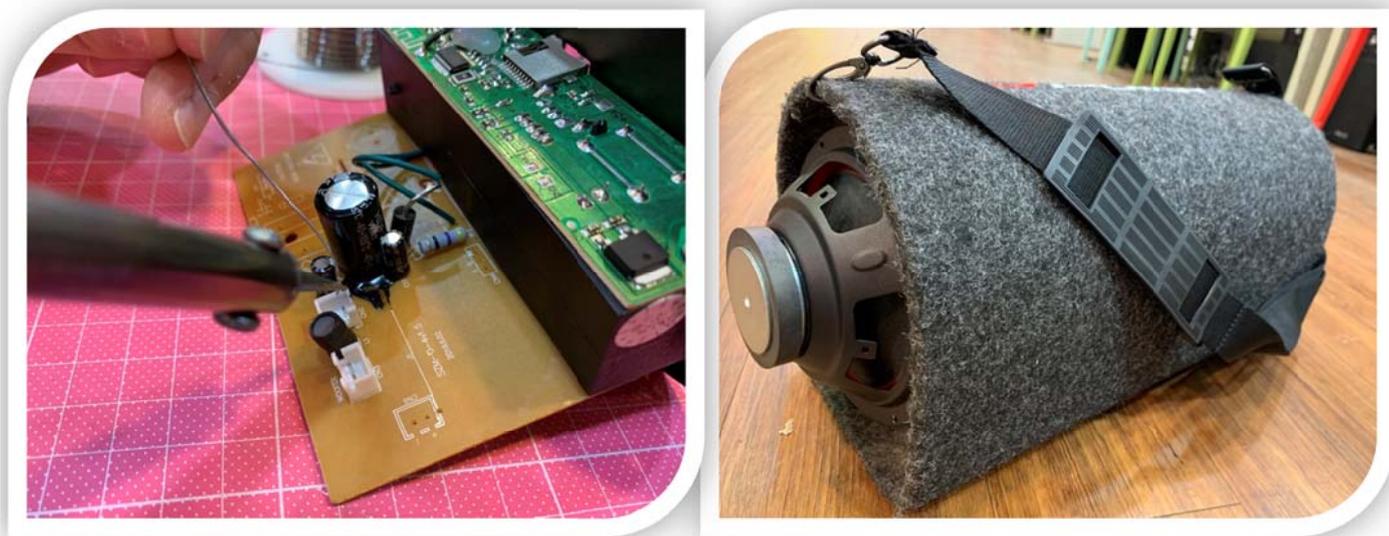
綜合以上結論，為了能更有效撲滅火源與增加使用上的安全性。在低頻聲波指向性研究與集音器的設計將是很重要的探討課題。本研究團隊目前正在進行相關的實驗設計與數據取得，期待我們的研究能給大眾帶來更多的幫助。

電路設計與完成品:

參考 TDA2050Datasheet，並利用 EasyEDA 電路佈線軟體設計電路與 layout. (圖 6-1)



(圖 6-1) 布線與 layout



(圖 6-2) 電路焊接&完成品

## 捌、參考資料及其他

### 書籍資料

- [1]交通大學 電子物理系 李威儀 教授 課堂講義 -波動 Wave Motion
- [2]成功大學 物理學系 朱淑君 教授 課堂講義 -波 Waves
- [3]普通物理（第3版） 作者：余健治、陳家駒、閔振發 出版社：東華
- [4]普通物理學 作者：Zill Chen 出版社：陳云川
- [5]音響工程設計與應用 作者：孫建京 出版社：電子工業出版社
- [6]音響工程 作者：鄭群星 出版社：全華圖書

### 網站資料

- [1] TDA2050 DataSheet
- [2] EasyEDA 電路設計教學
- [3] 維基百科-聲波 <http://zh.wikipedia.org/wik/聲波>
- [4] ITREAD 科技知識網-聲音與噪聲（分貝、聲功率、聲強和聲壓）
- [5] 【SONIC II】聲波之傳播原理：原理篇 <http://www.freesandal.org/?p=11232>
- [6] 聲音的傳輸：音頻的基礎理論 <https://kknews.cc/code/nv28lj5.html>
- [7] 描述聲波的物理量 <https://kknews.cc/news/28jol4g.html>
- [8] 音頻和音響電路中頻率劃分方法 <https://kknews.cc/news/op1548o.html>

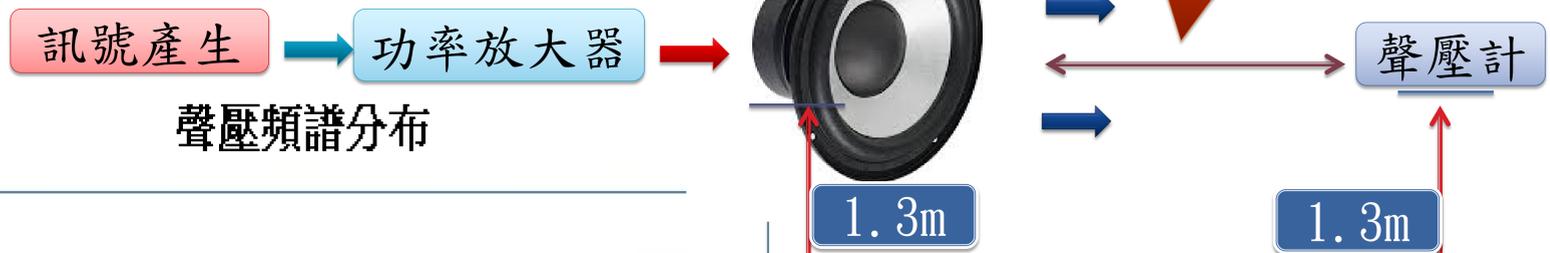
## 【評語】 052315

1. 本研究期望能藉由探討聲波的相關物理特性，研發出具備環保且使用安全的滅火器。經由聲壓頻譜分布可找出最佳（穩定較高）的頻率，藉由聲波物理特性的探討，可瞭解為何聲波處於低頻時具有滅火的特性，再由 3D PRINT 技術設計出周邊輔助的裝置，並完成研究作品。值得鼓勵！
2. 建議釐清火場的應用場景，與偵測判定的策略，是以溫度(熱像為先)還是以影像為先？火災場景發生環境會有各種狀況，周遭物品造成聲波反射和溫度梯度的影響建議納入考量。
3. 建議釐清滅火的策略，是滅可燃物？助燃物(氧氣)？還是降低溫度？可和消防相關專家諮詢實際火災狀況，確認所開發方式在各式火災的實用性。
4. 建議可以進一步探討最佳聲波頻率的物理原理，可以擴充應用的範圍與效益！

# 摘要

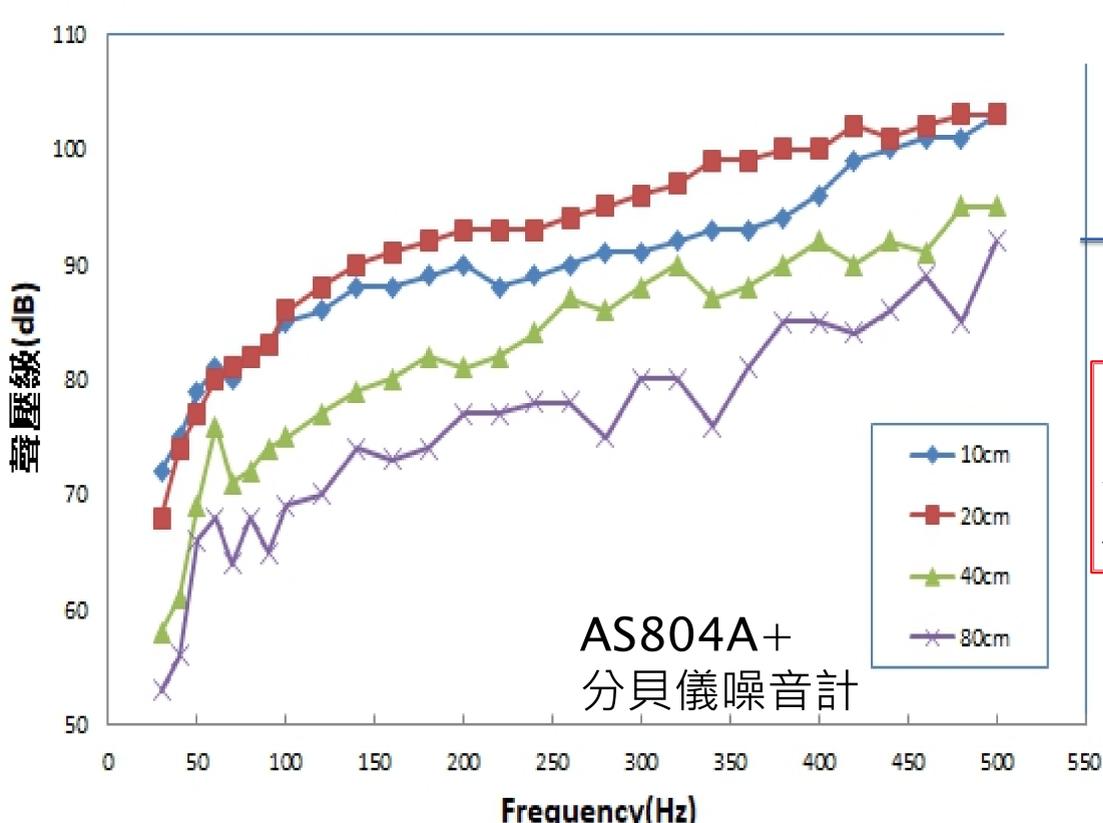
本研究期望能藉由探討聲波的相關物理特性，研發出具備環保且使用安全的滅火器。研究過程中，運用程式設計與藍芽無線傳輸的方式，傳輸並測試許多低頻的頻率，並深入探討其聲壓頻譜、聲壓、聲強、聲功率分布等物理特性。經由聲壓頻譜分布可找出最佳(穩定較高)的頻率，藉由聲波物理特性的探討，可瞭解為何聲波處於低頻時具有滅火的特性，再由3D PRINT技術設計出周邊輔助的裝置，並完成研究作品。

## 研究過程&方法

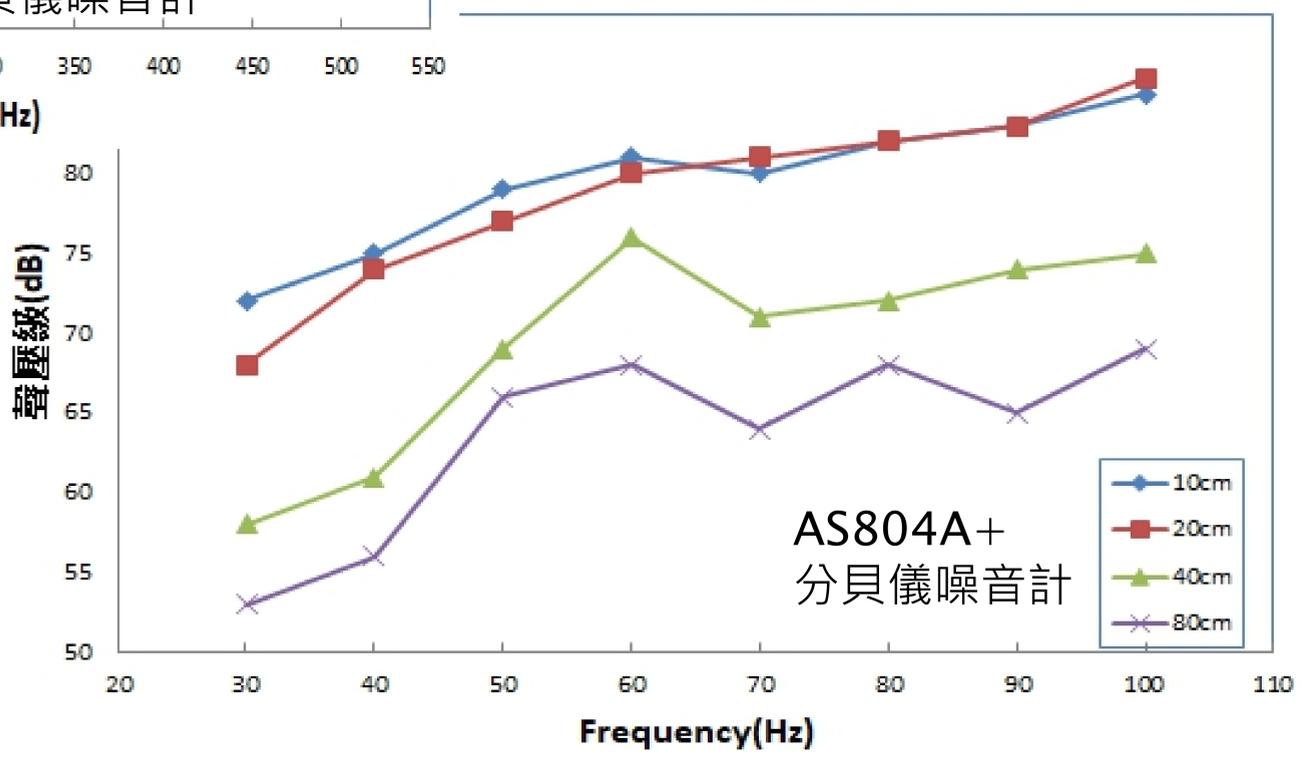


符合國家噪音管制量測標準：測量地點為室內時，聲音感應器應置於離地面或樓板1.2m至1.5m之間。

聲壓頻譜分布



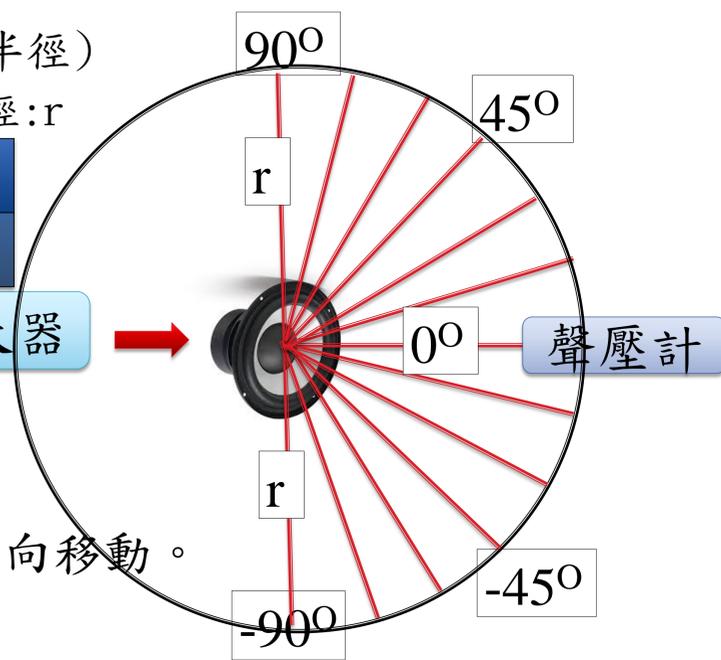
聲壓頻譜分布



探討聲壓分布(1. 同半徑不同頻率、2. 同頻率不同半徑)

單體(聲源)與聲壓計距離半徑:r

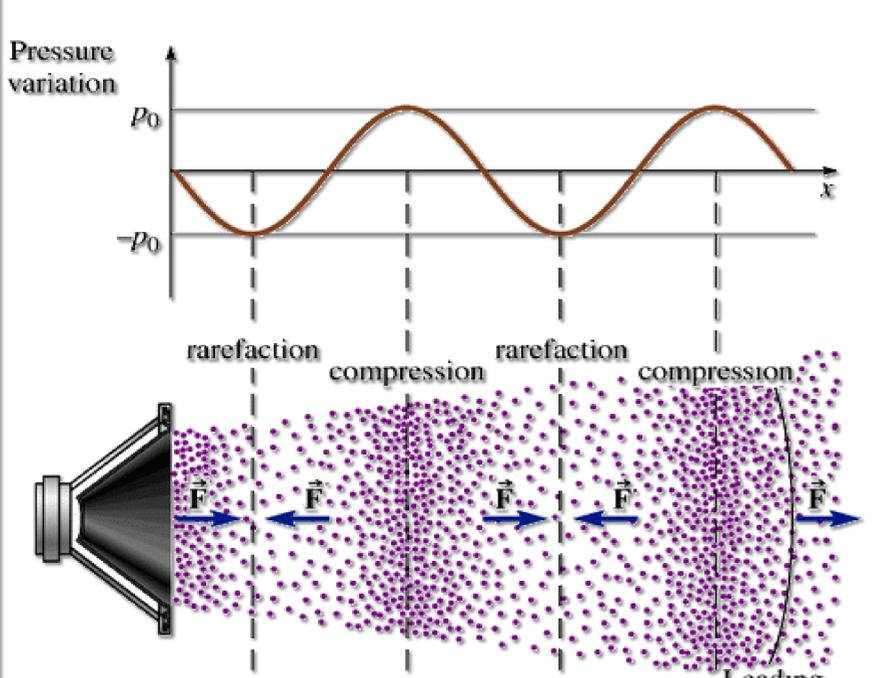
半徑r(cm)	20	30	40	50			
頻率(Hz)	30	50	70	90	110	130	150



測量範圍設定:(用於聲壓、聲強數據探討)

STEP1: 將聲源與聲壓計設定距離半徑為r。

STEP2: 聲壓計沿著此距離半徑往+90°方向與-90°方向移動。

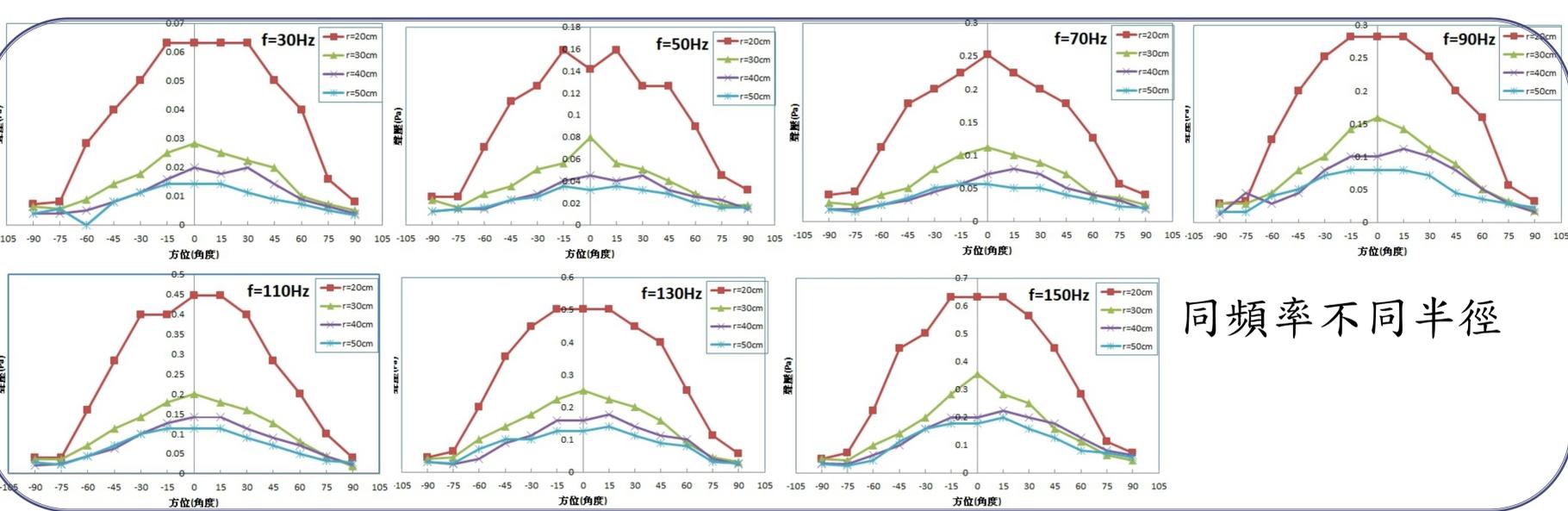
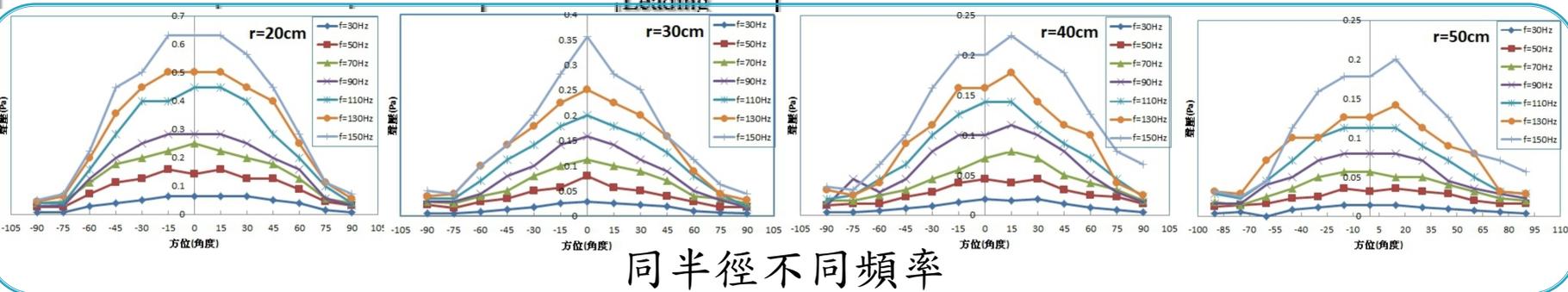


透過與聲壓級(sound pressure level, Lp) 關係是可以求得P(聲壓)

$$L_p = 10 \log(P/P_0)^2 = 20 \log(P/P_0)$$

$$\Rightarrow P = 2 \times 10^{-5} \times 10^{(L_dB/20)}$$

Lp單位: dB,  
P(聲壓力值)單位帕(Pa=Nt/m<sup>2</sup>)。  
P<sub>0</sub>(聲壓基準值): 2x10<sup>-5</sup>Pa。



聲壓(acoustic pressure, P) & 聲強(sound intensity, I)

平面波聲波方程式

$$P = y(x,t) = A \sin(kx - \omega t)$$

(t時刻, x位置處的繩子橫向位移)

k: 波數 = 2π/λ (λ: wavelength, ω: 震動的角頻率)

將上述平面波方程式 P=y(x,t) = A sin(kx-ωt) 帶入聲音波動方程式

(以下為推演後, 並求得 I、P 之間的關聯):

$$(\partial P / \partial x) = -\rho_0 (\partial \mu / \partial t)$$

μ: 空氣中分子震動的速度, ρ<sub>0</sub>: 空氣密度

$$\int (\partial P / \partial x) dt = -\rho_0 \mu$$

$$-((Ak) / \omega) \sin(kx - \omega t) = -\rho_0 \mu$$

$$k = \omega / C_0 \Rightarrow (A / C_0) \sin(kx - \omega t) = \rho_0 \mu$$

$$P = \rho_0 C_0 \mu \Rightarrow \mu = P / (\rho_0 C_0)$$

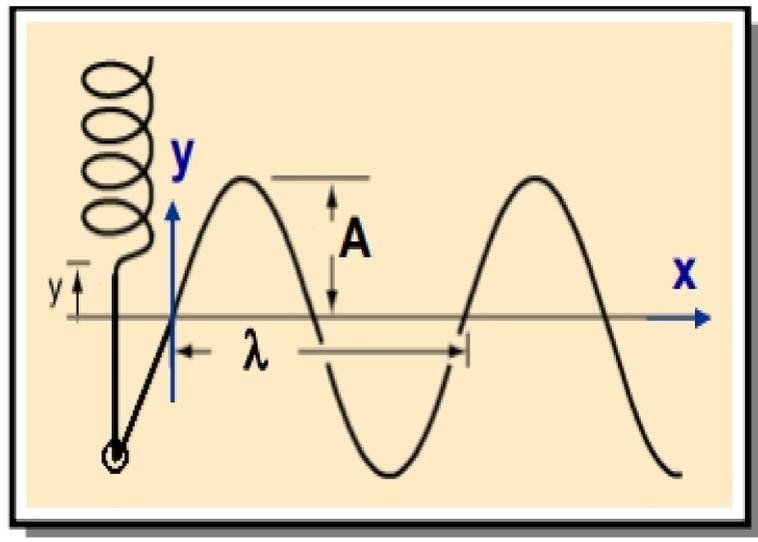
再將 μ = P / (ρ<sub>0</sub>C<sub>0</sub>) 帶入聲強 I = Pμ 的定義中

$$\text{可得 } I = P\mu = P(P / (\rho_0 C_0)) = P^2 / (\rho_0 C_0)$$

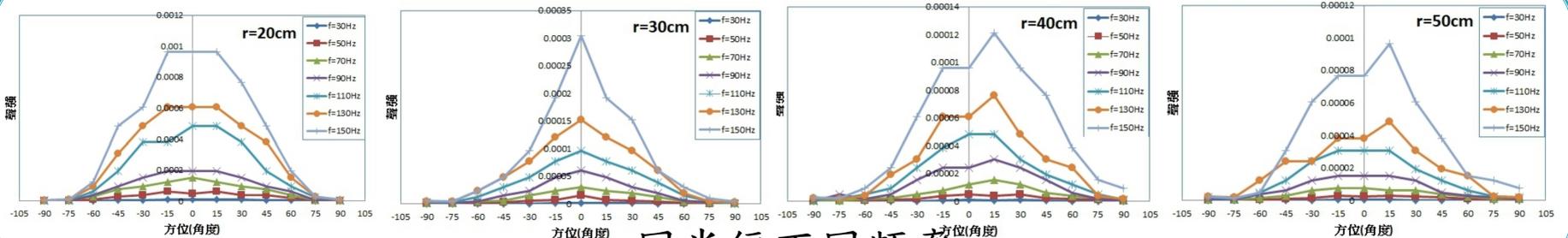
所以得證  $I = P^2 / (\rho_0 C_0)$  單位 W/m<sup>2</sup> ρ<sub>0</sub>C<sub>0</sub> = 415.68

ρ<sub>0</sub> 是聲傳波介質的密度, 空氣密度為: ρ<sub>0</sub> = 1.21 kg/m<sup>3</sup> (在 20 度時)。

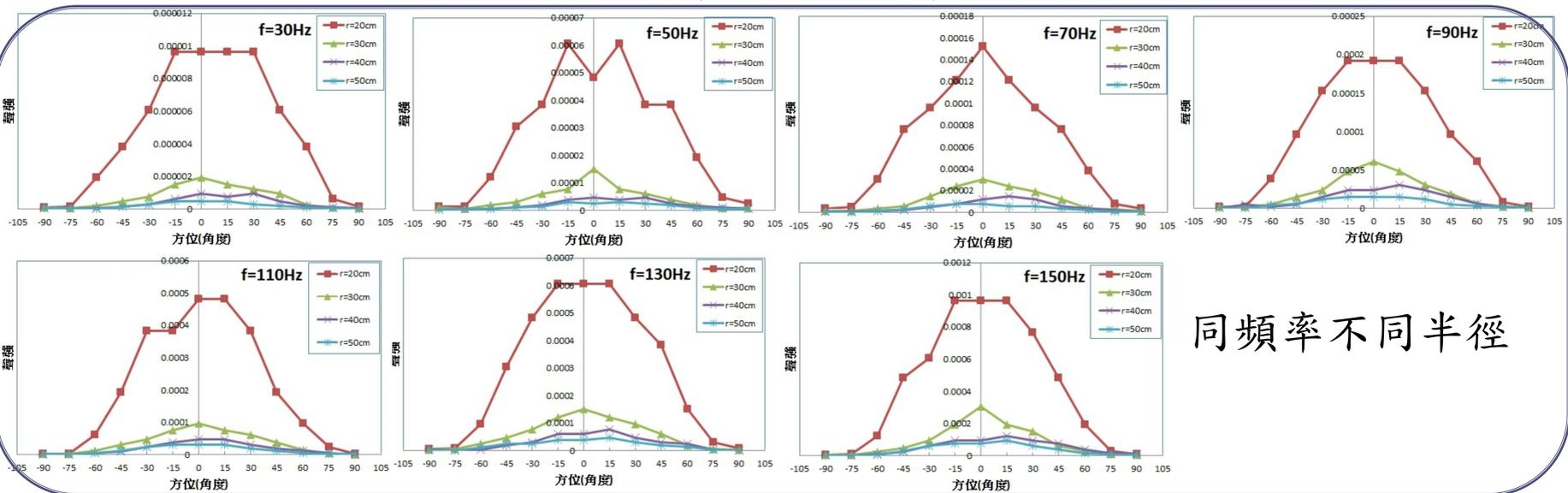
C<sub>0</sub> 是聲傳波的速度, 當溫度為 20 度 (C<sub>0</sub> = 331.4 + 0.607t), C<sub>0</sub> 為 343.54 m/s。



# 聲強(sound intensity, I)

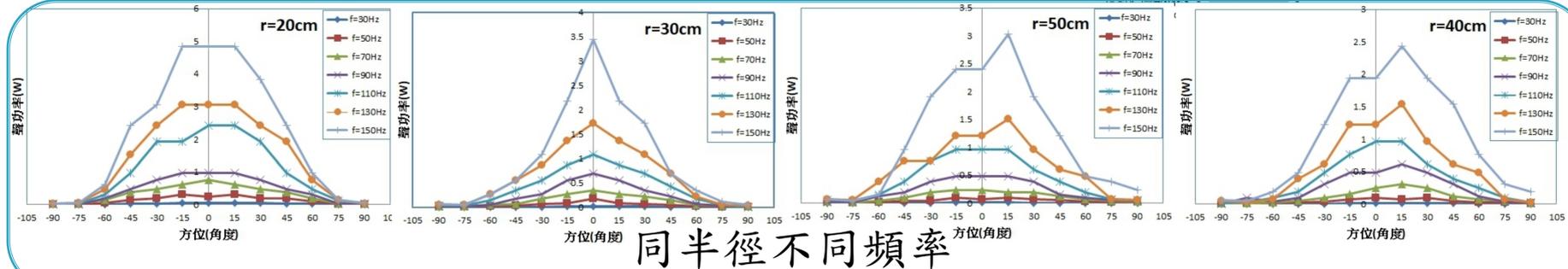
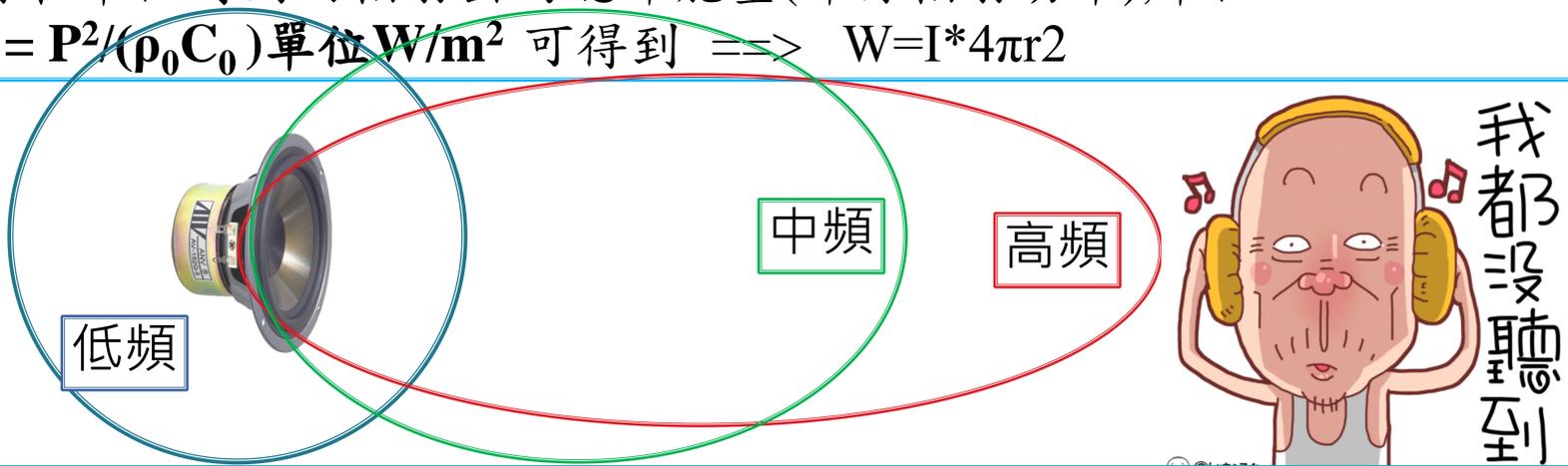


同半徑不同頻率

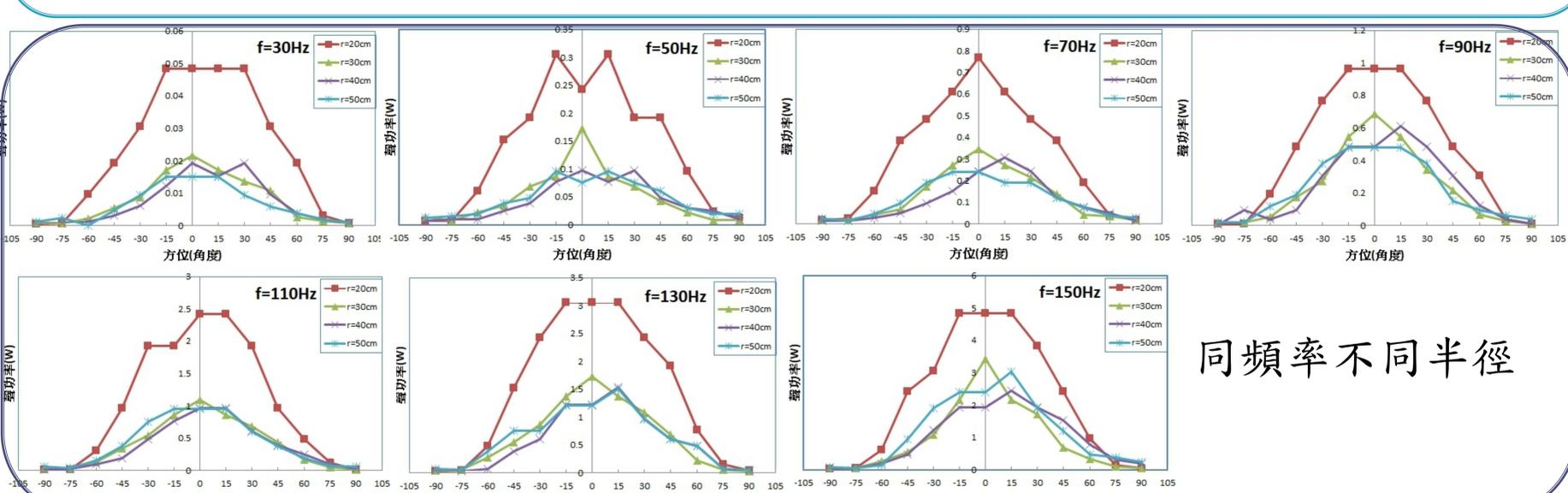


同頻率不同半徑

聲功率(Sound Power, W)與聲功率級(Sound Power level, Lw):  
 聲源在單位時間內輻射出的總聲能量(聲源輻射功率),單位W。  
 由  $I = P^2 / (\rho_0 C_0)$  單位  $W/m^2$  可得到  $\Rightarrow W = I * 4\pi r^2$



同半徑不同頻率



同頻率不同半徑

## 結論

- 一.由聲壓頻譜分布，於距離改變條件下，50Hz的變化較小，相對而言較穩定，故選擇 50Hz為本研究之最佳輸出頻率。(不同單體，會有不同的效果)
- 二.30Hz~100Hz皆能有效撲滅火源。(不同單體，會有不同的效果)
- 三.就頻率而言，頻率越高，其聲壓的方向性越明顯。頻率越低，其聲壓的方向性越不明顯。聲波於低頻時指向性較差，能量容易往四周圍發散出去。
- 四.就距離而言，頻率越高，其聲壓的方向性不會因為距離的增加而有太大的變化，但若為低頻時，其聲壓的方向性會隨著距離的增加而變得越不明顯。
- 五.不同單體(歐姆不同、瓦數不同)皆可經由本研究的聲壓頻譜分布找出最佳輸出頻率。
- 六.由研究數據得到，當聲波的頻率越低時，其聲壓(P)則越小，則氣體密度也相對越小(助燃氣體較少)。當聲波的頻率越高時，其聲壓(P)則越大，則氣體密度也相對越大(助燃氣體較多)。