

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

第三名

030507

聽海哭的聲音~探討影響海洋噪音的因素

學校名稱：高雄市立明華國民中學

作者： 國二 夏珮雅 國二 鄭筠蓁 國二 陳柏臻	指導老師： 李沅達 楊俊宏
---	-----------------------------

關鍵詞：海洋噪音、海洋酸化、海洋鹼化

壹、摘要

本研究透過實地採樣與實驗室模擬，欲探討影響海洋噪音的因素。在實際採樣中，實地測量高雄市區各處水體之酸鹼值、鹽度及吸聲係數，以探究實際環境中水體如何影響聲音吸收程度。在模擬實驗中，改變水體不同酸鹼值、鹽度等因素並測量聲音音量之吸收係數。結果表明聲音吸收程度受水體酸鹼值影響較大，且吸聲係數在 pH7.6~7.8 之間有一極大值，因此隨水體的酸化和鹼化，吸聲程度皆降低，以酸化降低較快，鹼化降低較慢。

貳、研究動機

近年來，溫室氣體被熱烈的討論，溫室氣體除了改變大氣外，由於大氣中二氧化碳的濃度增加，進而造成海洋酸化的結果。

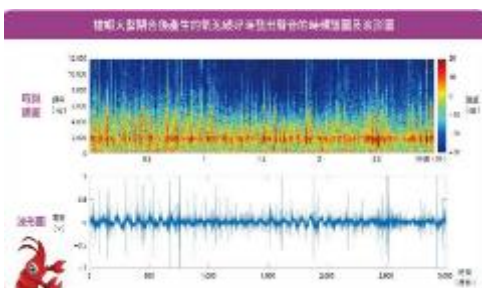
然而，海洋酸化又會對海洋造成什麼樣的影響呢？經過查詢後發現，若海洋越酸，水中噪音就會被放得越大(低 pH 的嘈雜海洋，地球物理研究通訊 2008.10)，但線上文獻並沒有明確數據能夠說明，因此我們十分好奇結果是否就如文獻所述。本研究除了探究酸鹼度的因素，也想了解其餘海洋中的變因是否也是構成海洋「哭泣」的關鍵。

而了解海洋噪音可幫助我們了解造成水中生物傷害的原因：例如《海洋的聲音生態與保育》(科技大觀園 2018.12)指出，珊瑚礁生態區中各種生物構成多樣聲景，同時部分生物也依賴此聲景進行移動或其他生存行為。又如《離岸風場水下噪音》(科學發展 2019.08)指出，海事工程進行中發出的噪音數值，會因當地海底底質及地形使其影響範圍有所變化，此類工程所帶來的噪音污染常改變鯨豚類的游向與覓食行為，影響存活率。

以上可知，海洋噪音對生態的影響從食物鏈底層至頂端，影響範圍廣大，足以表明探究海洋噪音之重要性。



離岸風場為海洋噪音源之一
(圖片來源：科技大觀園)



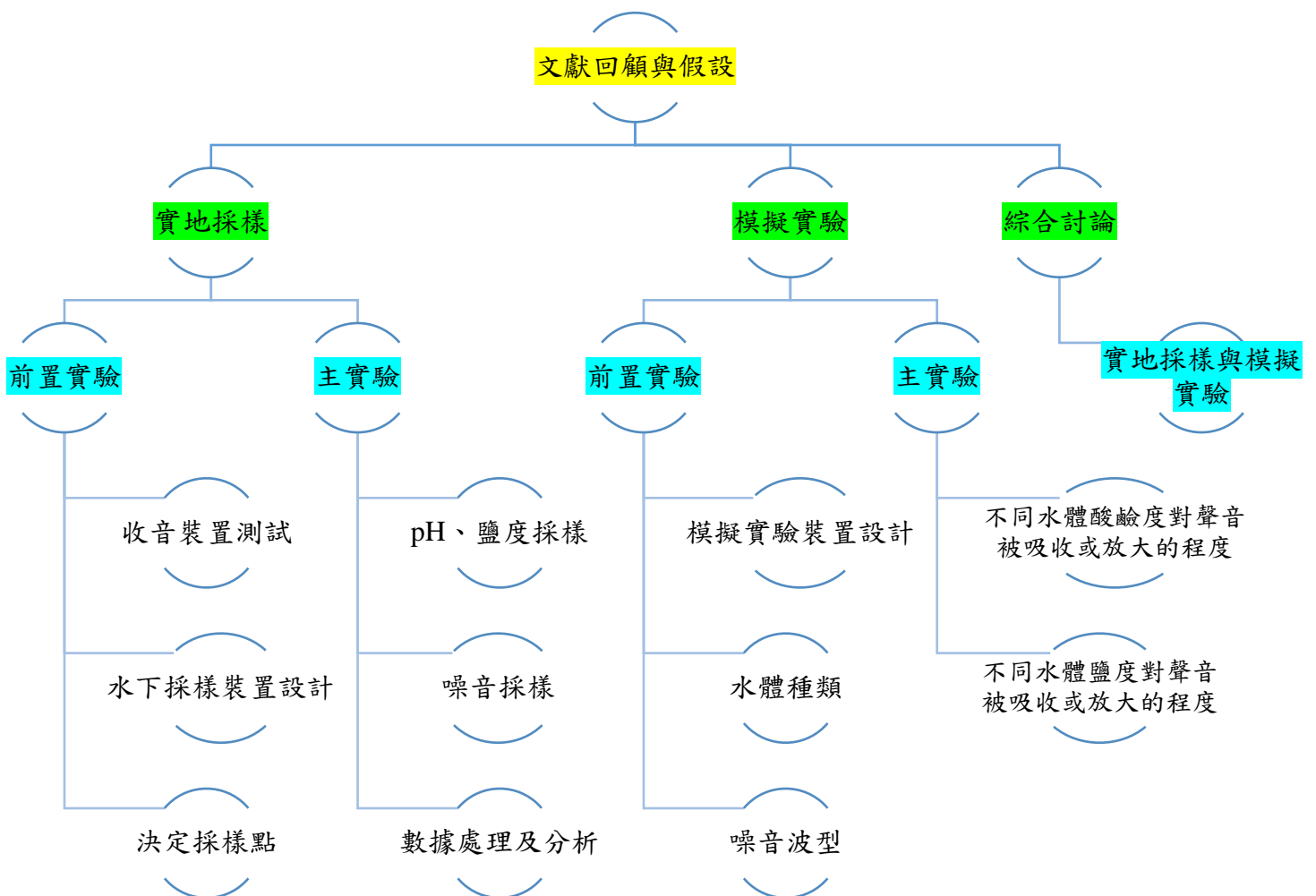
珊瑚礁聲景：槍蝦發出聲音之頻譜圖
(圖片來源：科技大觀園)

參、研究目的與架構

一、研究目的

1. 探討不同水質下實際水體，如何影響聲音被吸收或放大的程度。
2. 探討不同水體酸鹼度對聲音被吸收或放大的程度。
3. 探討不同水體鹽度對聲音被吸收或放大的程度。

二、研究架構



肆、研究設備及器材

本實驗所使用主要器材、設備及軟體包含：

- (一)實際採樣：錄音筆、防水袋、長竹竿、滾輪、塑膠繩、載重重物、筆型 pH 計、鹽度計、計時器、電腦 Audacity 軟體。
- (二)模擬實驗：水管、發泡布、止洩帶、手機 Physics Toolbox Suite App、電腦 Audacity 軟體、麥克風、藍芽音響、錄音筆、海水素、筆型 pH 計、鹽度計、二氧化碳鋁瓶、計時器。

伍、研究方法與結果討論

一、實地採樣-前置

(一)目的

本實驗首前往高雄市區各地水體採樣，探討不同水質下實際水體，如何影響聲音被吸收或放大的程度。

前置實驗中，進行採樣裝置設計與測試：1.收音裝置測試、2.水下採樣裝置設計、3.決定採樣點。

(二)實驗步驟與結果

1. 收音裝置測試

(1)實驗步驟：

- A.準備實驗器材(錄音筆、手機、保麗龍、Audacity、Excel)。
- B.使用相同手機以固定音量播放 20Hz~20kHz 正弦波音源。
- C.在保麗龍隔音裝置中，以錄音筆(如圖 5-1-1)多次錄取聲音數據。
- D.將聲音數據檔案輸入 Audacity，繪製頻譜圖，並決定主實驗使用之錄音筆。



圖 5-1-1：收音裝置

(2)測量結果：

測試次數	R1	R2	R3
1	-45.75	-46.69	-47.43
2	-25.88	-27.76	-29.80
3	-32.23	-37.86	-30.07
4	-45.88	-44.24	-45.35
5	-48.43	-48.86	-48.69
標準差	9.97	8.51	9.51

表 5-1-1：不同錄音筆錄製音量平均值與標準差(R1~R3 分別為 1~3 號機)

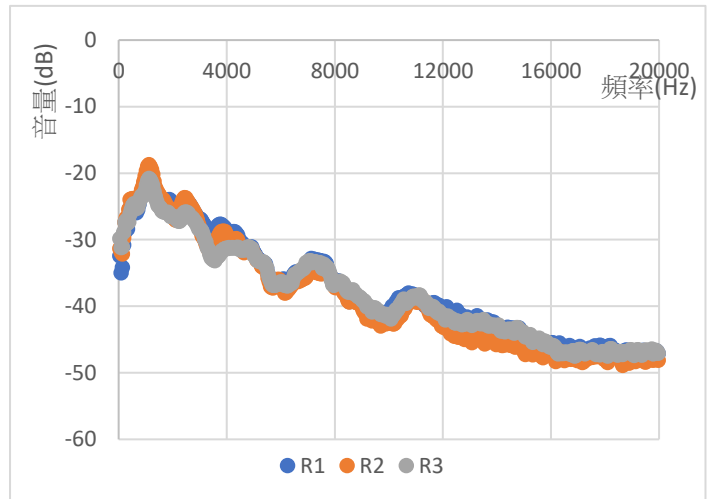


圖 5-1-2：不同錄音筆錄製音量對頻率之關係圖

(3)分析與討論：

圖 5-1-2 中，可見三錄音筆對各頻率之響應相去不遠：對中低頻聲音(約 10000Hz 以下)較為敏感，高頻則否。然而，表 5-1-1 中 5 次測試實驗中，將各次音量平均後取各組數據標準差，以觀察各錄音筆記錄聲音之穩定度。

以 2 號、3 號錄音筆標準差最小，因此我們將在主實驗中，選擇此二錄音筆進行採樣，其一進行水下聲音採樣；另一進行岸上聲音採樣。

2. 水下採樣裝置設計

(1)實驗步驟：

參考中華民國 108 年 2 月 26 日環署授檢字第 1080001171 號所公告之《水下噪音測量方法》(如圖 5-1-3)，重新設計水下採樣裝置。

本實驗採樣使用垂降方式，將收音裝置垂降至水下，採樣一段時間後，拉回水面回收收音裝置。因此改以垂釣式裝置進行設計，並以石塊作為載重，使防水設計後的收音裝置能順利沉沒水中。安全標示裝置位置和輔助回收則改以空寶特瓶作為浮標。設計圖如圖 5-1-4。

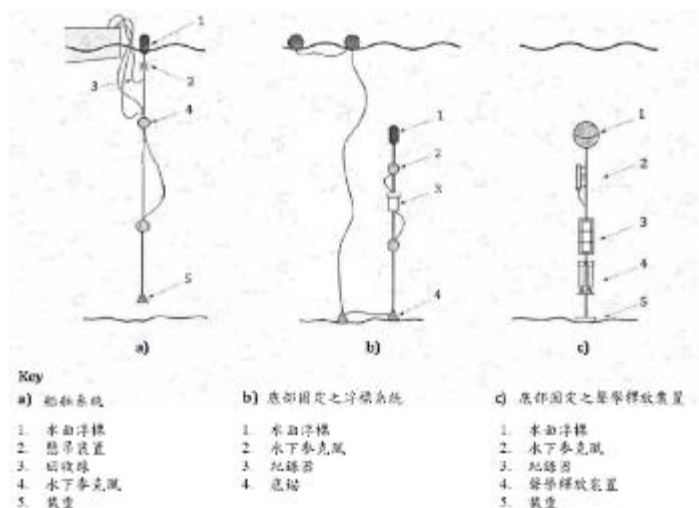


圖 5-1-3：《水下噪音測量方法》靜態部署平台

(2)設計結果：

本實驗所使用水下採樣裝置完成圖，如圖 5-1-5 所示。

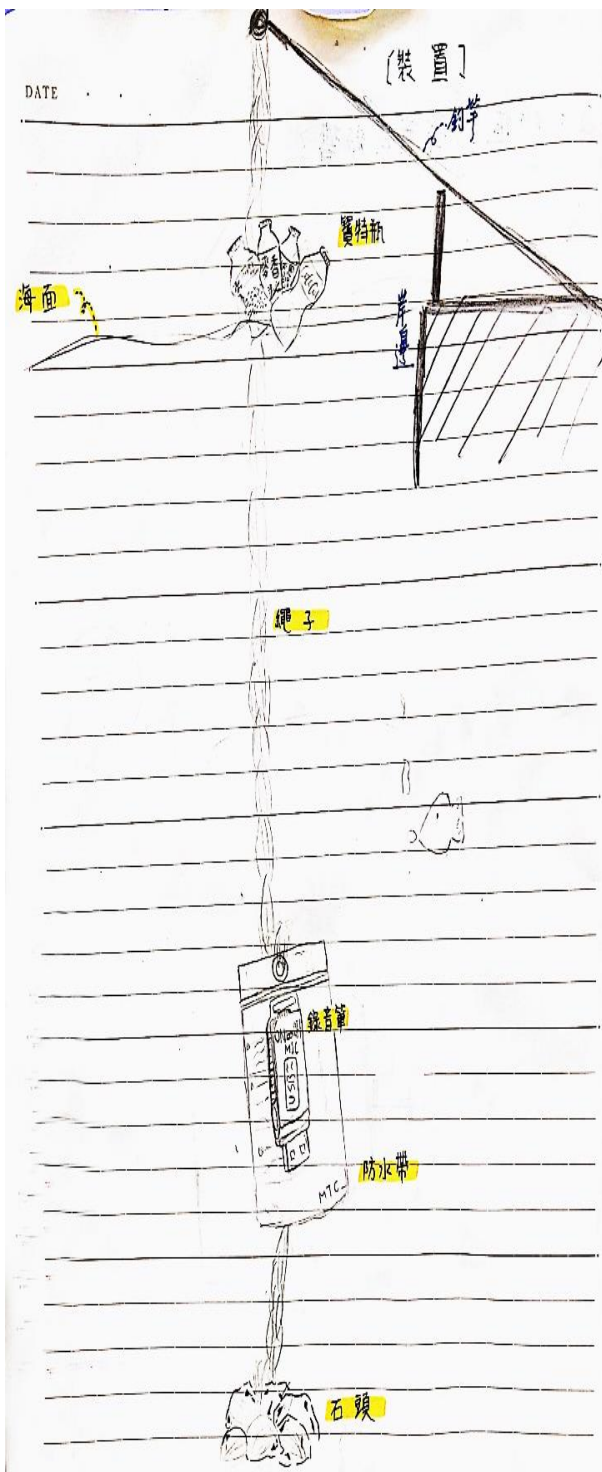


圖 5-1-4：水下採樣裝置設計圖

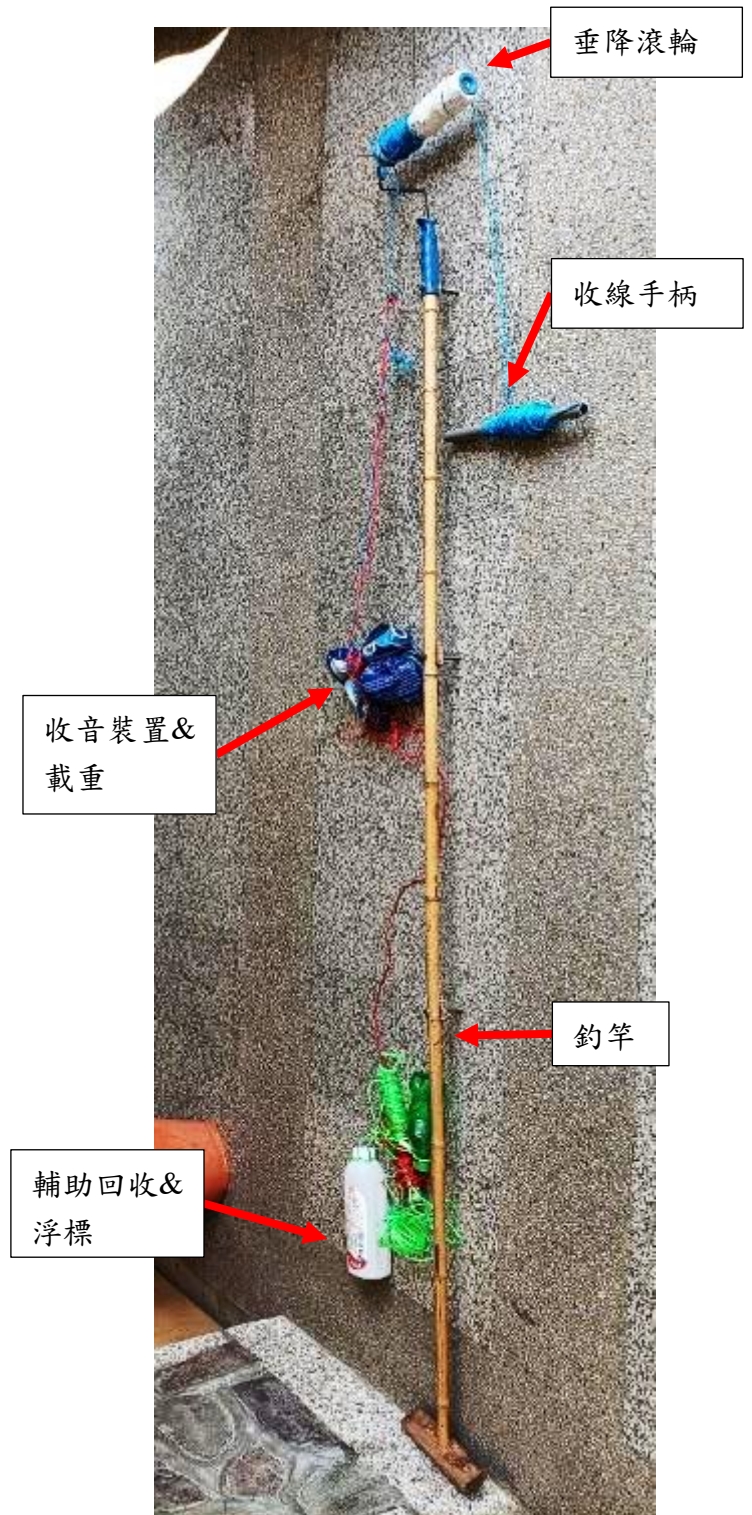


圖 5-1-5：水下採樣裝置完成

3. 決定採樣點

為使採樣數據之水體的水質多樣化，本實驗選擇高雄市區幾個主要水體，包含淡水鹹水、由北至南、上段至下段。因此，採樣點如表 5-1-2 和圖 5-1-6 所示。

編號	水體名稱	地點名稱或描述	地點經緯度
1	左營蓮池潭	蓮池潭文昌祠旁	22°41'12.4"N；120°17'58.4"E
2	高雄愛河	慈濟高雄靜思堂前河堤(上段)	22°39'16.8"N；120°18'36.8"E
3		中都濕地公園前河岸(中段)	22°38'52.7"N；120°17'04.8"E
4		高雄中正橋旁河岸(下段)	22°37'36.4"N；120°17'19.7"E
5	高雄港沿海	西子灣城塚情人座	22°37'11.6"N；120°15'57.9"E
6		駁二棧貳庫	22°37'08.4"N；120°16'34.8"E
7		星光水岸公園	22°36'34.7"N；120°17'49.1"E
8	前鎮運河	高雄前鎮國小前河岸	22°35'13.0"N；120°18'30.2"E
9	澄清湖	九曲橋	22°39'25.9"N；120°20'57.2"E
10		富國島	22°39'46.6"N；120°20'60.0"E
11	金獅湖	鼎金一巷旁曲橋	22°40'09.6"N；120°19'42.6"E
12	高雄愛河	市港河濱公園(出海口)	22°37'11.1"N；120°17'22.9"E

表 5-1-2：採樣點資料

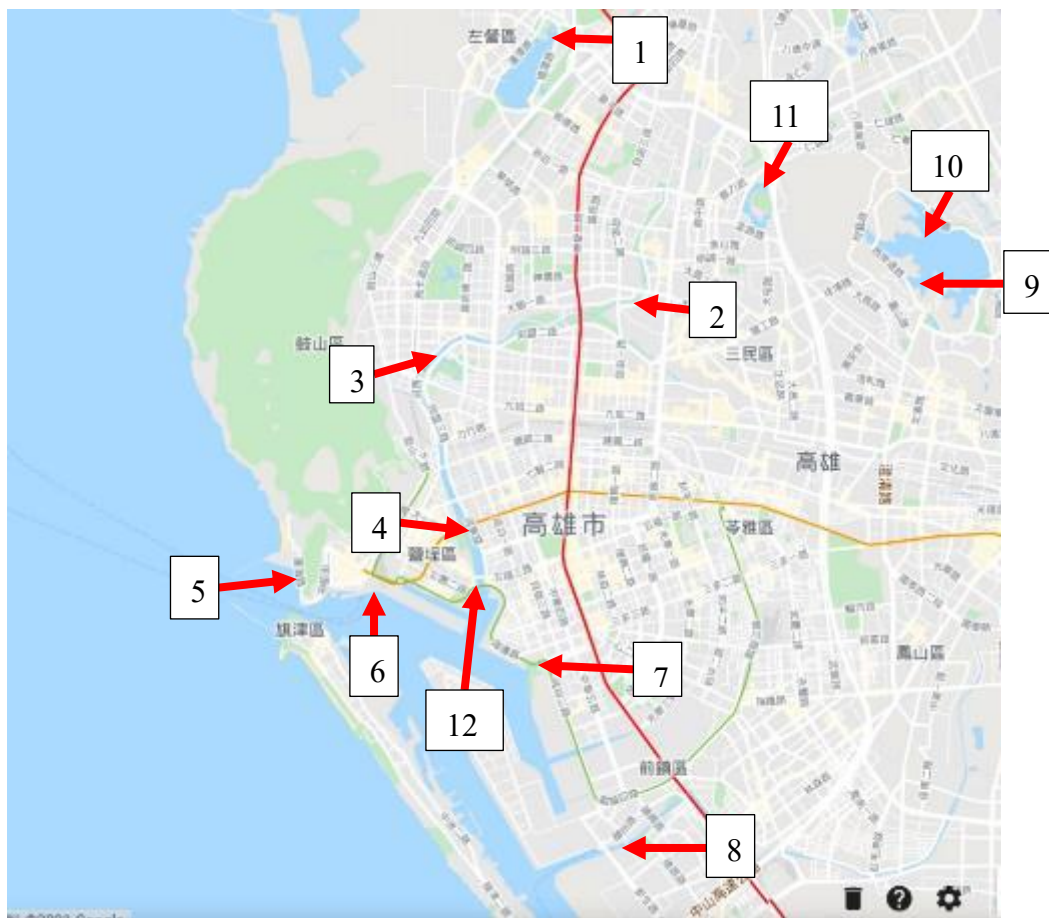


圖 5-1-6：採樣點地圖

二、實地採樣-主實驗

(一)目的

本實驗前往高雄市區各地水體採樣，探討不同水質下實際水體，如何影響聲音被吸收或放大的程度。將進行以下採樣與分析：**1.pH 值、鹽度採樣、2.噪音採樣、3.數據處理及分析。**

(二)實驗步驟與結果

4. pH 值、鹽度採樣

(1)實驗步驟：

A.準備實驗器材(取水裝置，如圖 5-2-1、筆型 pH 計、鹽度計、量筒、滴管、燒杯)。

B.校正 pH 計、鹽度計。

C.前往採樣點，將取水裝置沉入水中，使用水管汲水；同時測量該噪音採樣水深。

D.拉回取水裝置，吸取約 10mL 水體樣本。

E.使用 pH 計、鹽度計測得水體 pH 值、鹽度。如圖 5-2-2。

F.多次測量，將 pH 值、鹽度、噪音採樣水深取平均。



圖 5-2-1：取水裝置



圖 5-2-2：

測量實際水體 pH 值

(2)測量結果：

編號	水體名稱	地點名稱或描述	pH 值 (經水溫修正)	鹽度 (‰)	採樣水深 (m)
1	左營蓮池潭	蓮池潭文昌祠旁	8.84	0.00	1.80
2	高雄愛河	慈濟高雄靜思堂前河堤(上段)	7.21	3.50	0.55
3		中都濕地公園前河岸(中段)	7.66	14.50	1.60
4		高雄中正橋旁河岸(下段)	7.61	17.00	1.70
5	高雄港沿海	西子灣城探情人座	7.59	29.50	6.00
6		駁二棧貳庫	8.10	30.00	10.00
7		星光水岸公園	7.28	28.50	1.50
8	前鎮運河	高雄前鎮國小前河岸	7.19	8.00	2.35
9	澄清湖	九曲橋	8.93	0.00	2.40
10		富國島	8.61	2.00	2.55
11	金獅湖	鼎金一巷旁曲橋	8.96	1.25	1.75
12	高雄愛河	市港河濱公園(出海口)	8.41	26.00	1.13

表 5-2-1：各採樣點之 pH 值、鹽度、噪音採樣水深平均值

5. 噪音採樣

(1) 實驗步驟：

- A. 準備實驗器材(水下採樣裝置、2 號 3 號錄音筆、Audacity、Excel)。
- B. 前往各採樣點，組裝水下採樣裝置。
- C. 同時打開 2 號與 3 號錄音筆，並將 2 號錄音筆放入防水袋中。
- D. 將收音裝置垂降至採樣水深處，並計時 20 分鐘(採樣約 96 萬筆水下環境聲音數據)。
- E. 3 號錄音筆採樣時也計時 20 分鐘(採樣約 96 萬筆岸上環境聲音數據)。如圖 5-2-3。
- F. 將步驟 D、E 數據輸入 Audacity 中並匯出音量值(dB)，計算平均值。如圖 5-2-4。



圖 5-2-3：噪音採樣

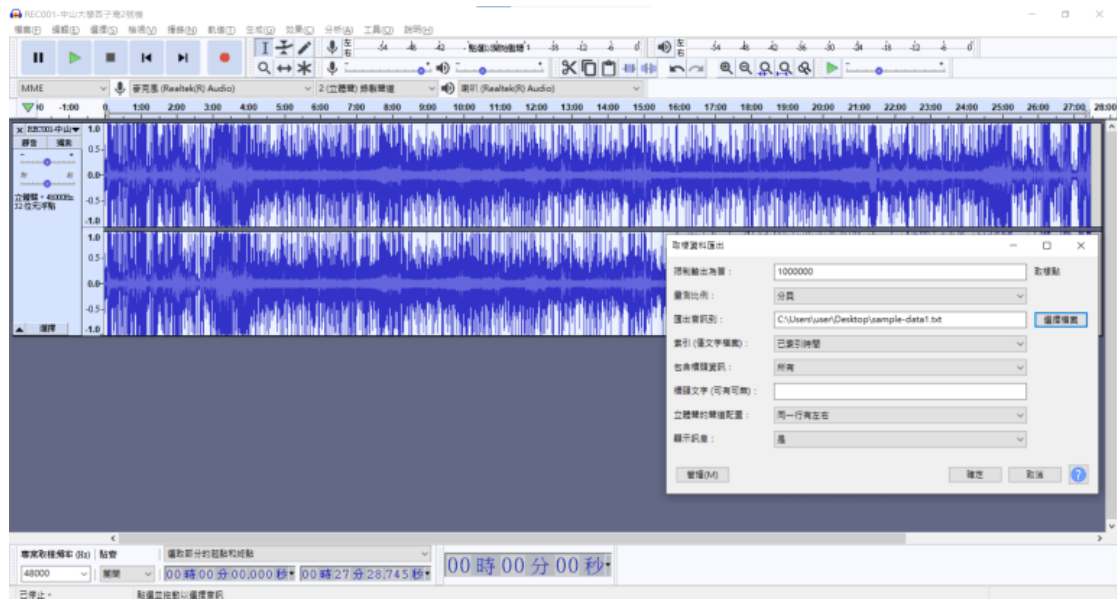


圖 5-2-4：Audacity 匯出音量值(dB)

(2)測量結果：

編號	水體名稱	地點名稱或描述	岸上環境音量 (dB)	水下環境音量 (dB)
1	左營蓮池潭	蓮池潭文昌祠旁	-35.16	-31.78
2	高雄愛河	慈濟高雄靜思堂前河堤(上段)	-35.53	-33.30
3		中都濕地公園前河岸(中段)	-33.56	-34.42
4		高雄中正橋旁河岸(下段)	-32.96	-32.27
5	高雄港沿海	西子灣城垛情人座	-36.06	-28.27
6		駁二棧貳庫	-19.76	-5.85
7		星光水岸公園	-34.98	-31.26
8	前鎮運河	高雄前鎮國小前河岸	-34.85	-32.70
9	澄清湖	九曲橋	-38.93	-31.10
10		富國島	-35.57	-36.91
11	金獅湖	鼎金一巷旁曲橋	-25.65	-21.64
12	高雄愛河	市港河濱公園(出海口)	-33.92	-33.38

表 5-2-2：各採樣點之水下岸上環境音量測量結果
(分貝值皆以 Audacity 標準作為基準點，因而為負值)

6. 數據處理及分析

(1) 實驗步驟：

為比較各採樣點，僅因著水體不同而造成聲音傳遞過程中，吸收或放大之效果。因此，本實驗將表 5-2-2 所得之測量數據依據「聲音衰減的斯托克斯定律」(Stokes's law of sound attenuation)處理。依據「聲音衰減的斯托克斯定律」可知，

$$A(d) = A_0 e^{-\alpha d} \quad (\text{式 2})$$

其中 $A(d)$ 為在水體中經過 d 距離的聲音振幅、 A_0 為初始聲音振幅、 α 則為能量遞減速率。

此處 α 值則與水體水質及聲音特性有關($\alpha = \frac{2\eta\omega^2}{3\rho v^3}$ ，其中 η 為流體黏度、 ω 為聲音角頻率、 ρ 為流體密度、 v 為介質中的聲音速度)。在本實驗中：

A. 各採樣點皆使用同樣的收音裝置採樣所有頻率的环境噪音。

B. 各採樣點皆在溫度接近時採樣，且傳聲介質皆為水。

因此 ω 聲音角頻率和 v 介質中的聲音速度對於各採樣點可視為一致。本實驗將著重在 α 值與水體水質的關係。

根據式 2 中的定義， $A(d)$ 可視為本實驗噪音採樣的「水下環境聲音」之振幅平均值； A_0 則是「岸上環境聲音」之振幅平均值，因此將此二者轉換成分貝值表示。由於：

$$\text{分貝值}(dB) = 10 \log_{10}\left(\frac{A_2}{A_1}\right) \quad (\text{式 3})$$

其中 A_2 為某一聲音之振幅大小、 A_1 為給定 0 分貝之振幅大小。因此，將式 2 以式 3 型式表示則為：

$$10 \log_{10}\left(\frac{A(d)}{A_1}\right) = 10 \log_{10}\left(\frac{A_0 e^{-\alpha d}}{A_1}\right)$$

整理後可得：

$$dB(d) = dB_0 + 10 \log_{10}(e^{-\alpha d})$$

$$dB(d) = dB_0 - 10\alpha d \log_{10}(e)$$

因此：

$$\alpha = \frac{dB_0 - dB(d)}{10d \log_{10}(e)} \cong \frac{dB_0 - dB(d)}{4.34d} = \frac{\Delta}{4.34d} \quad (\text{式 4})$$

其中 $dB(d)$ 即為本實驗噪音採樣的「水下環境聲音」之音量平均值、 dB_0 則是「岸上環境聲音」之音量平均值，並將「 dB_0 岸上環境音量 - $dB(d)$ 水下環境音量」定義為 Δ 值、 d 則是採樣水深。

最後，根據式 4 將表 5-2-1 和表 5-2-2 所得之測量數據，計算各採樣點之 Δ 值和 α 值，如表 5-2-3 所示。再以表 5-2-1 和表 5-2-3 繪製 α 值對 pH 值、鹽度之關係圖，如圖 5-2-5 和圖 5-2-6，以觀察能量遞減速率與水體的酸鹼度、鹽度之間的關係。

(2)處理結果：

編號	水體名稱	地點名稱或描述	Δ 值(dB)	採樣水深 d(m)	α 值(1/m)
1	左營蓮池潭	蓮池潭文昌祠旁	-3.38	1.80	-0.43
2	高雄愛河	慈濟高雄靜思堂前河堤(上段)	-2.22	0.55	-0.93
3		中都濕地公園前河岸(中段)	0.87	1.60	0.12
4		高雄中正橋旁河岸(下段)	-0.69	1.70	-0.09
5	高雄港沿海	西子灣城垛情人座	-7.78	6.00	-0.30
6		駁二棧貳庫	-13.91	10.00	-0.32
7		星光水岸公園	-3.72	1.50	-0.57
8	前鎮運河	高雄前鎮國小前河岸	-2.15	2.35	-0.21
9	澄清湖	九曲橋	-7.83	2.40	-0.75
10		富國島	1.34	2.55	0.12
11	金獅湖	鼎金一巷旁曲橋	-4.01	1.75	-0.53
12	高雄愛河	市港河濱公園(出海口)	-0.54	1.13	-0.11

表 5-2-3：各採樣點之 Δ 值與 α 值

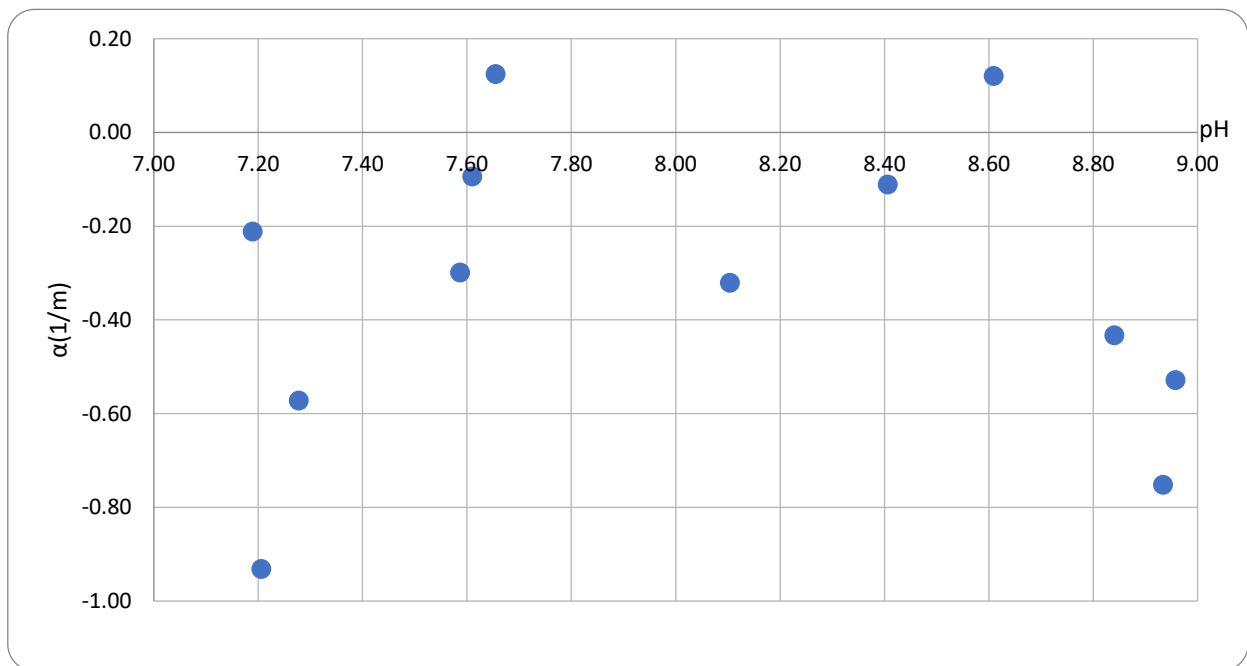


圖 5-2-5：各採樣點 α 值對 pH 值之關係圖

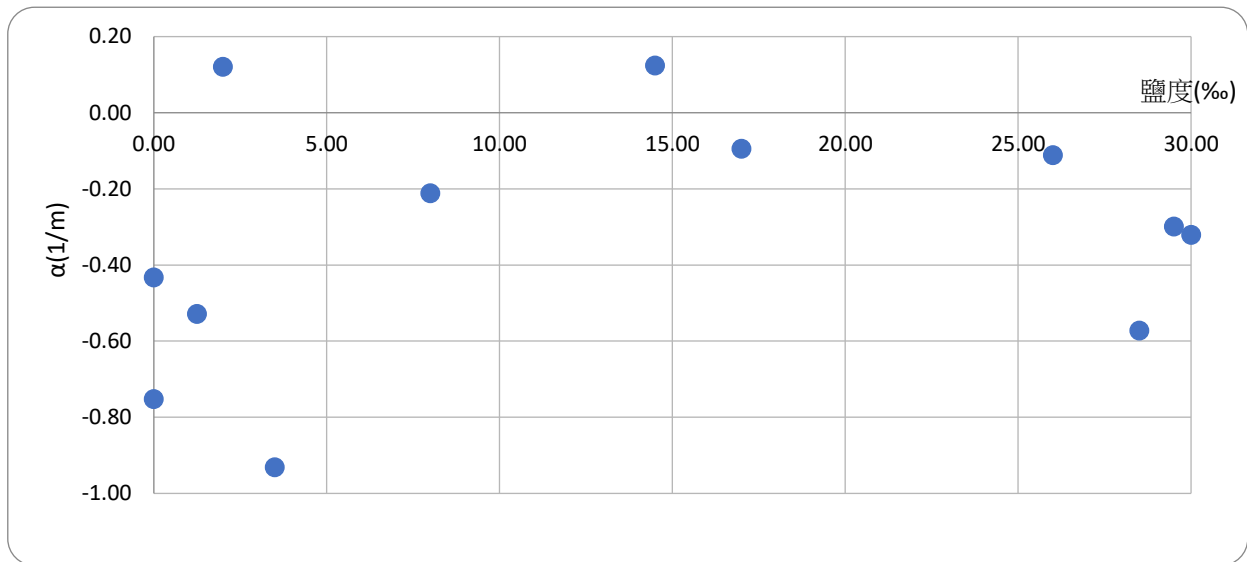


圖 5-2-6：各採樣點 α 值對鹽度之關係圖

(三) 結果討論

1. pH 值、鹽度採樣

根據表 5-2-1 可繪製成圖 5-2-7。可觀察到各採樣點 pH 值和鹽度之間並無太大關聯性，因此以下結果討論將分開來看。

酸鹼度部分以編號 11、9、1 的金獅湖、澄清湖和蓮池潭最鹼，而編號 2 愛河上段及編號 8 前鎮運河最酸。總體而言，高雄水體以封閉水域的內陸湖泊偏鹼性；而開放水域的河段往內陸、往南漸酸。

鹽度部分則顯著隨地理位置而有規律性的改變，編號 1、9~11 為封閉內陸湖泊鹽度較低，而編號 2~4 內陸水域至編號 5~7 港區沿岸鹽度由河到海域增加。

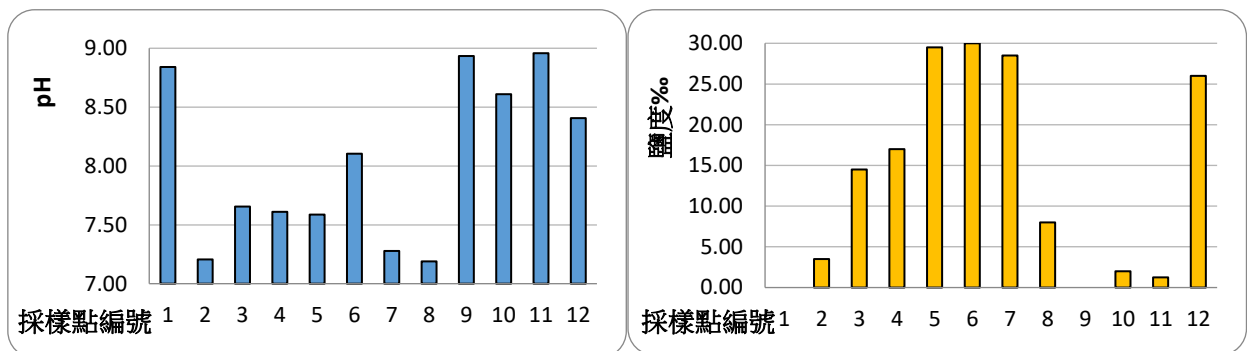


圖 5-2-7：各採樣點之 pH 值(左)、鹽度(右)平均值

2. 噪音採樣

根據式 4 結果， α 值需要 Δ 值的測量。因此在同一採樣點須同時測量 $dB(d)$ 水下環境音量和 dB_0 岸上環境音量。同時計算 Δ 值的過程，也將不同採樣點的背景值標準化，僅計算水下較岸上吸收或放大多少分貝值。如表 5-2-2 可見，岸上音量與水下音量最大皆出現在編號 6 駁二棧貳庫，附近較多人聲、船舶噪音；而二者音量最小分別是澄清湖的九曲橋與富國島。

3. 數據處理及分析

根據上述，利用式 4 求出考慮聲音傳遞距離 d 的 α 值。 α 值越大，表示音量遞減速度越快；反之則遞減速度較慢。

將圖 5-2-5 中以 $pH7.66$ 分成獨立二圖，並去除誤差較大的兩個採樣點(編號 8 和 10)，如圖 5-2-8。可發現， $pH < 7.66$ 時 α 值隨 pH 下降而變小； $pH > 7.66$ 時 α 值隨 pH 上升亦變小，且前者 α 值變小程度較快(pH 僅下降 0.4~0.5 左右， α 值下降 1 左右)。再者， α 值多數為負值，代表水下環境噪音多數大於岸上環境噪音，即**聲音被放大**。

圖 5-2-6 可見 α 值隨鹽度變化也具有類似前述的現象，以鹽度 14.5‰為界線，小於 14.5‰時鹽度下降， α 值降低；大於 14.5‰時鹽度上升， α 值亦降低。

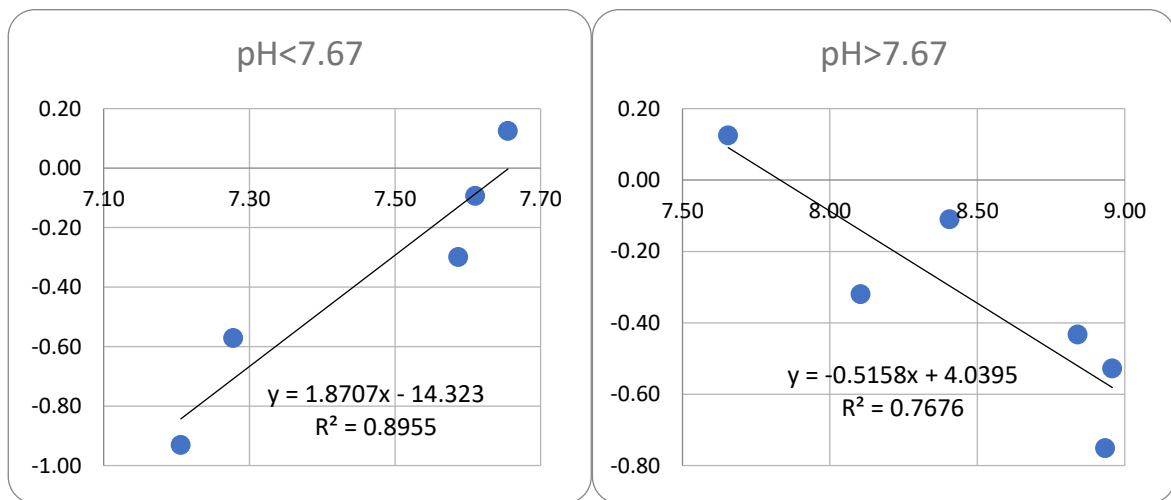


圖 5-2-8：各採樣點 α 值對 $pH7.67$ 前後之關係圖(縱軸 α 值；橫軸 pH)

根據上述分析，聲音吸收或放大的程度(α 值)與水體 pH 、鹽度在不同範圍內有相關性。然而，實際採樣的環境變因較多且難以排除，因此以室內模擬水體進行聲音吸收的實驗，並與實際採樣結果比對。

三、模擬實驗-前置實驗

(一)目的

本實驗欲探討不同變因的模擬水體，如何影響聲音被吸收或放大的程度，並與實際採樣結果進行比較分析。

前置實驗中，進行模擬裝置設計與測試：1.模擬裝置設計、2.水體種類、3.噪音波型。

(二)實驗步驟與結果

7. 模擬裝置設計

(1)實驗步驟：

參考中華民國第 54 屆中小學科學展覽會《海洋酸化對噪音傳播的影響》(桃園縣楊梅市瑞塘國民小學)，重新設計模擬裝置。該作品中使用玻璃水缸做為模擬環境，使聲音穿越水體並進行收音。本實驗欲簡化上述裝置並針對上述裝置與實際採樣的缺點作改良，以控制實驗變因：

- 1.噪音音源的方位與頻率多樣混雜。
- 2.噪音音源為水下噪音與岸上噪音的總和。

為解決上述缺點，本實驗採用截面小於音源面積的塑膠水管作為導管，讓聲音從一端的音響發出，經由一段空氣柱與一段水柱的傳遞，最後由另一端的錄音筆作為收音裝置，即可控制噪音來源與方向。再者，以手機 Physics Toolbox Suite App 即可連接音響控制音源頻率。最後，將發泡布包裹水管以隔絕實驗背景噪音，增加收音數據的準確度。

設計圖如圖 5-3-1，完成照片如圖 5-3-2。

(2)設計結果：

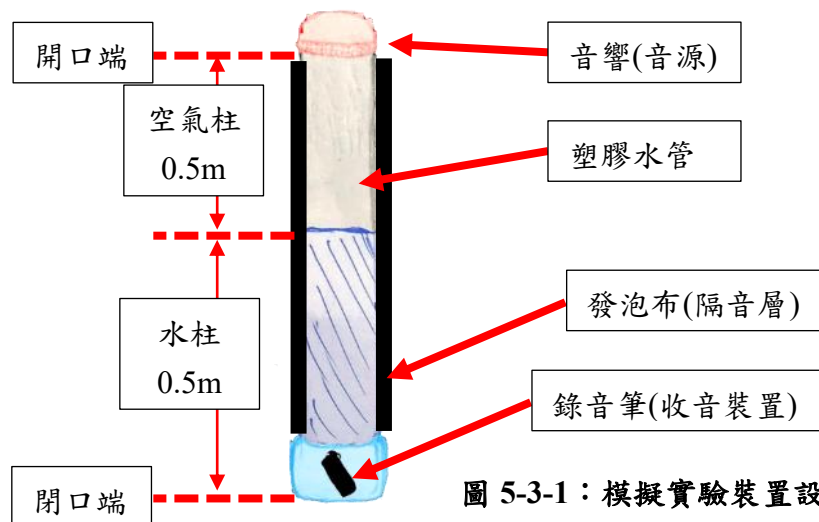


圖 5-3-1：模擬實驗裝置設計圖

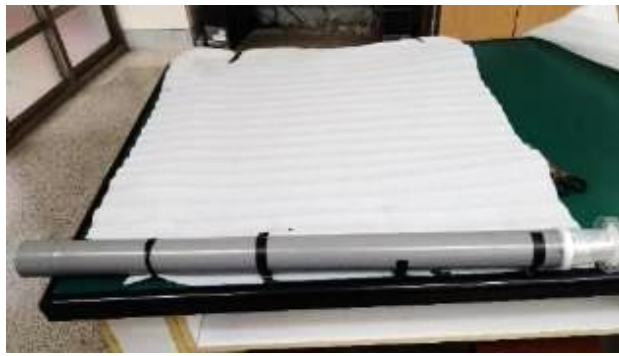


圖 5-3-2：模擬實驗實際裝置

(上)將水管包裹發泡布

(右)裝置完成(水管上方黑色圓柱為音響，以重物固定；右方夾鏈袋為錄音筆，以細繩垂降方式安置在水管底端)

8. 不同水體種類對傳聲效果的影响

(1) 實驗步驟：

A. 準備實驗器材(模擬裝置、鹽度計、錄音筆、音響、手機 Physics Toolbox App、Excel)。

B. 採集高雄港區實際海水(光榮碼頭)。

C. 以海水素及食鹽調出相同鹽度(約 30‰)之模擬水體。(海水素成份如圖 5-3-3)

D. 架設圖 5-3-1 器材，並以手機連接音響，發出一固定頻率(500Hz)、振幅之聲音。

E. 將三種不同水體(光榮碼頭、海水素、鹽水)分別倒入模擬裝置中，測量音響所發出的音量(dB)，記錄 30 秒。

F. 計算不同水體種類之音量平均值與標準差，並決定主實驗所使用的水體種類。

(2) 測量結果：

水體種類	平均值(dB)	標準差
光榮碼頭	68.53	3.36
海水素	69.46	3.26
鹽水	71.76	2.10

表 5-3-1：各水體種類之音量平均值與標準差

Items	Colar Sea Salt (S=35%)
d(t=24°C)	1.024~1.026
pH	8.10~8.40
KH	7~12
Na ⁺ (mg / L)	9200~9700
Mg ²⁺ (mg / L)	1300~1400
K ⁺ (mg / L)	350~400
Ca ²⁺ (mg / L)	380~430
Sr ²⁺ (mg / L)	9.0~10.50
Rb ²⁺ (mg / L)	0.11~0.13
Fe(mg / L)	0.06~0.20
Li ⁺ (mg / L)	0.12~0.15
Cl(mg / L)	17000~17800
SO ₄ ²⁻ (mg / L)	2250~2500
Br ⁻ (mg / L)	20~40
F ⁻ (mg / L)	0.6~1.1
B (mg / L)	4.0~6.0

圖 5-3-3：使用海水素成份

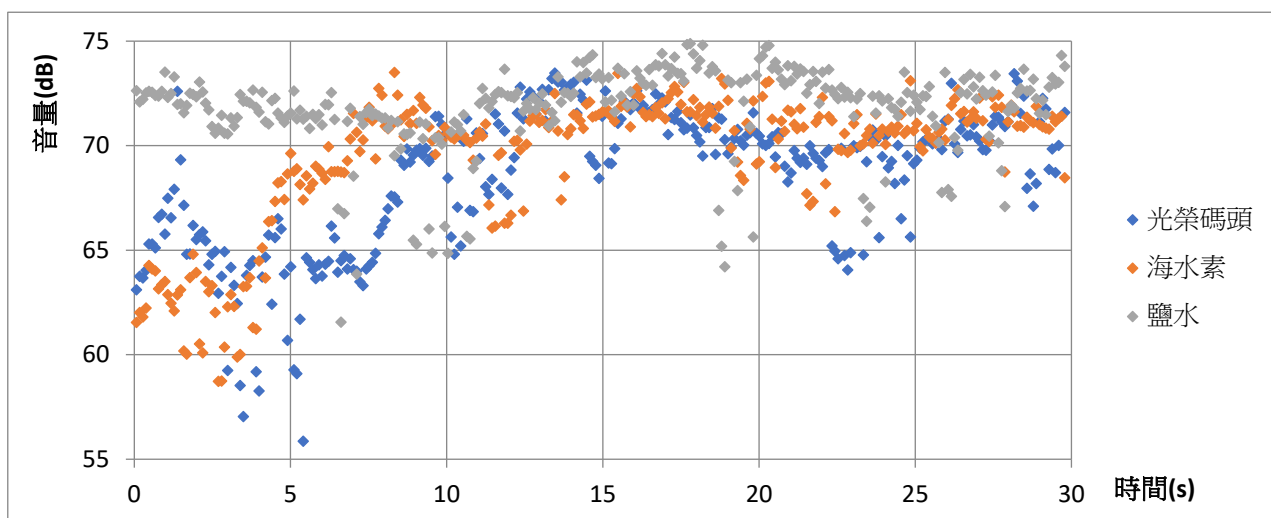


圖 5-3-4：不同水體之音量對時間之變化圖

(3)分析與討論：

根據表 5-3-1 與圖 5-3-4，可見音量之平均值與標準差，以海水素與光榮碼頭(實際海水)較為接近。為保持水質穩定與實驗操作的便利性，我們將在主實驗中使用同款海水素進行模擬實驗，以模擬真實海水。

9. 不同噪音波型對傳聲效果的影响

(1)實驗步驟：

- A.準備實驗器材(模擬裝置、鹽度計、錄音筆、音響、手機 Physics Toolbox App、Excel)。
- B.調配足量之海水素水溶液，以模擬水體。
- C.架設圖 5-3-1 器材，並以手機連接音響，發出低至高頻率(200、500、5000、10000、12000、15000、17000Hz)、固定振幅之聲音。
- D.在無水的狀態下，測量音響所發出的音量(dB)，記錄 30 秒。
- E.倒入 0.5m 高的模擬水體，測量音響所發出的音量(dB)，記錄 30 秒。
- F.分別使用 App 提供之正弦波、方波、鋸齒波、三角波，重複步驟 C~E。
- G.計算模擬水體對各頻率聲音的吸收率(式 5)，並決定主實驗所使用的噪音波型。

$$\text{吸收率}\% = \frac{\text{無水數據(原始音量)} - \text{有水數據(水體傳聲音量)}}{\text{無水數據(原始音量)}} \times 100\% \quad (\text{式 } 5)$$

(2)測量結果：

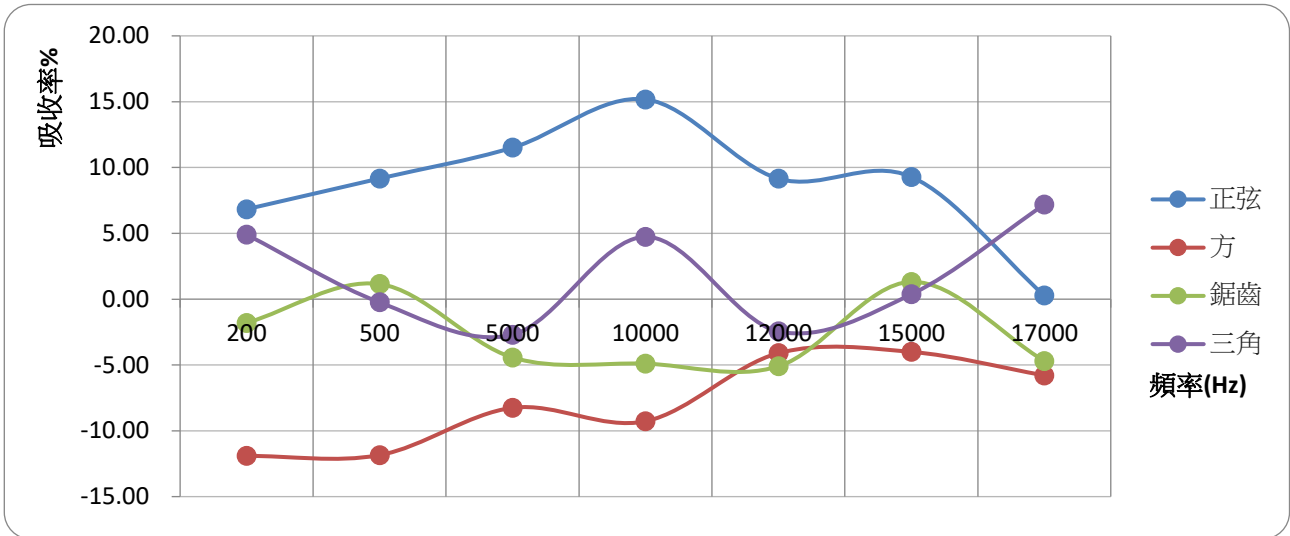


圖 5-3-5：模擬水體對不同噪音波型的吸收率對各頻率之關係圖

(3)分析與討論：

根據圖 5-3-5，可見各種波型之吸收率，正值代表聲音在模擬水體中被吸收；負值代表聲音在模擬水體中被放大。圖中可見以正弦波被模擬水體吸收率最高；方波、鋸齒波、三角波反而有部分頻率被模擬水體放大音量，其中以方波被放大程度最高。

由於本實驗主要目的是探討噪音在不同變因的水體中是否會被放大，若使用方波、鋸齒波或三角波模擬噪音，將無法將噪音的放大僅歸因於水體本身，因此我們將在主實驗中均使用**正弦波**進行模擬實驗。

10. 加裝發泡布對聲音輸出與接收的影響

(1)實驗步驟：

- 準備實驗器材(模擬裝置、鹽度計、錄音筆、音響、手機 Physics Toolbox App、Excel)。
- 調配足量之海水素水溶液，以模擬水體。
- 架設圖 5-3-1 器材，並以手機連接音響，發出一固定頻率(500Hz)、振幅之聲音。
- 倒入 0.5m 高的模擬水體，測量音響所發出的音量(dB)，記錄 30 秒(約 300 組音量數值)。
- 拆除發泡布隔音層。重複步驟 D。
- 計算有無加裝隔音層之音量平均值與標準差後，決定主實驗是否使用隔音層。

(2)測量結果：

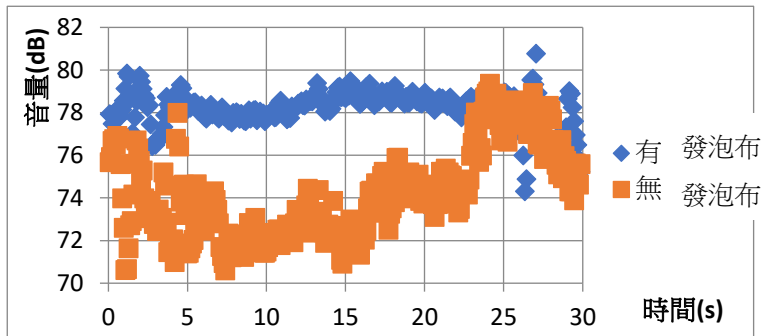


圖 5-3-6：有無隔音層之音量對時間之變化圖

有無 隔音	平均值 (dB)	標準差
有	78.20	0.85
無	74.17	2.12

表 5-3-2：有無隔音層之音量平均值與標準差

(3)分析與討論：

根據表 5-3-2 與圖 5-3-6，在有無加裝隔音層之音量平均值與標準差中，可見加裝隔音層之音量較大，數據也較集中，代表較不易受到模擬實驗時背景環境的干擾。因此我們將在主實驗中使用隔音層。

四、模擬實驗-主實驗

(一)目的

本實驗欲探討不同變因的模擬水體，如何影響聲音被吸收或放大的程度，並與實際採樣結果進行比較分析。本實驗假設以下變因影響聲音程度：**1.水體酸鹼度**、**2.水體鹽度**。

(二)數據處理

以下列舉各種可能造成實驗誤差的因素：

1. 為使收音所得音量數據，純粹為音響模擬之噪音音源，必須屏除背景環境噪音干擾。
2. 音響貼著水管傳音，必須屏除除了模擬水體外的傳音介質所造成的影響。
3. 錄音筆與音響對於各聲音頻率的敏感度不同，必須屏除其造成的收音音量數據之差異。

本實驗需專注探討水體本身對聲音傳遞的影響，以下做法為排除上述誤差：

1. 在水管無水狀態下測量音響發出各頻率聲音之對照組數據。此做法可將背景噪音、水管本身對聲音影響、各頻率聲音的基準值記錄下來。
2. 在水管中倒入 0.5m 高的模擬水體狀態下，測量音響發出各頻率聲音之操作組數據。

3. 將上述二組數據依據「聲音衰減的斯托克斯定律」，以實際採樣的式 4 計算 α 值。其中 dB_0 為無水狀態下各頻率收音的音量； $dB(d)$ 為倒入 0.5m 高的模擬水體狀態下各頻率收音的音量； d 為聲音在水體的傳遞距離，即 0.5m。

$$\alpha \cong \frac{dB_0 - dB(d)}{4.34d} \quad (\text{式 4})$$

4. 在式 4 中，若數據取樣夠多，上述 $dB_0 - dB(d)$ 後便可將背景噪音、水管對聲音影響、各頻率聲音的基準值去除，僅比較聲音在有無水體下的差異。因此，本實驗欲在不同變因的模擬水體下，計算 α 值，探討聲音吸收放大效果。

(三)實驗步驟與結果

11. 探討不同水體酸鹼度對聲音被吸收或放大的程度

(1)實驗步驟：

- A. 準備實驗器材(模擬裝置、海水素、隔音裝置、二氧化碳鋼瓶、電子秤、筆型 pH 計、錄音筆、音響、手機 Physics Toolbox App、電腦 Audacity、Excel 軟體)。
- B. 調配足量且固定比例(依照海水素包裝袋說明：海水素與純水重量比 1：28.5)之海水素水溶液，以模擬水體。
- C. 架設圖 5-3-1 器材，並以手機連接音響。
- D. 利用 Audacity 軟體分析實地採樣的音源，發現較顯著的音源頻率由大至小為：89、217、476、783、940、1575、2331、3345、4534 Hz。因此以手機 Physics Toolbox App 發出此些頻率、固定振幅之聲音。
- E. 在無水的狀態下，測量音響所發出的音量(dB)，記錄 4 秒(約 20 萬組音量數值)。
- F. 倒入 0.5m 高的模擬水體，測量音響所發出的音量(dB)，記錄 4 秒(約 20 萬組音量數值)。
- G. 以二氧化碳鋼瓶灌氣，依照實地採樣水體的酸鹼值，製作出 pH 值為 8.32、8.27、8.15、8.05、7.82、7.72、7.62、7.53、7.40、7.28、7.18 的模擬水體，重複步驟 D~F。如圖 5-4-1 和圖 5-4-2。
- H. 計算模擬水體對各頻率聲音的 α 值(式 4)，並繪製不同酸鹼度下模擬水體對聲音的吸 α 值對各頻率之關係圖。

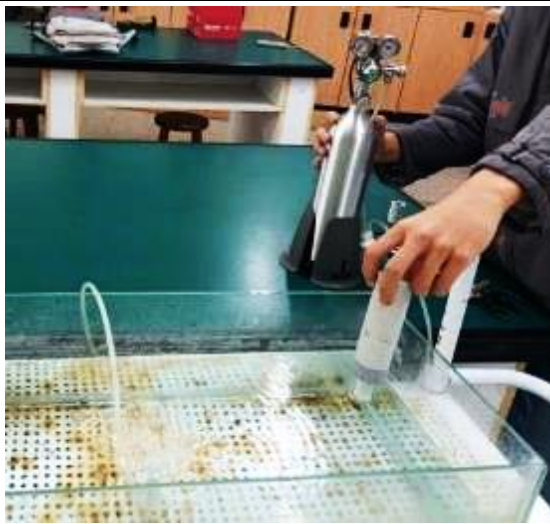


圖 5-4-1：灌入二氧化碳，調整 pH 值



圖 5-4-2：測量不同 pH 值的噪音

(2)測量結果：

pH 頻率	8.32	8.27	8.15	8.05	7.82	7.72	7.62	7.53	7.40	7.28	7.18
89	0.518	0.637	1.822	0.403	0.333	0.861	1.243	0.423	1.759	0.612	0.368
217	0.013	0.016	0.160	-0.001	-0.001	-0.005	0.032	0.023	0.211	0.330	0.000
476	0.059	0.381	0.026	0.347	0.227	0.142	0.784	0.035	0.039	0.127	0.061
783	0.426	2.829	1.725	2.618	3.046	0.732	2.469	0.584	3.075	0.264	6.333
940	7.645	8.920	9.341	8.930	10.831	10.339	6.837	5.713	5.881	3.000	8.329
1575	8.550	9.690	12.264	9.885	11.000	11.180	8.315	6.656	12.569	10.999	11.428
2331	10.100	10.378	12.024	11.536	10.522	11.097	11.271	11.411	9.269	8.887	11.514
3345	11.806	9.835	11.541	9.490	10.218	12.501	10.584	11.134	7.396	9.401	10.934
4534	11.263	10.124	11.126	10.803	10.787	10.478	9.855	11.032	11.699	11.066	12.086
平均	5.598	5.868	6.670	6.001	6.329	6.369	5.710	5.223	5.766	4.965	6.784

表 5-4-1：不同酸鹼度下模擬水體對頻率聲音的 α 值

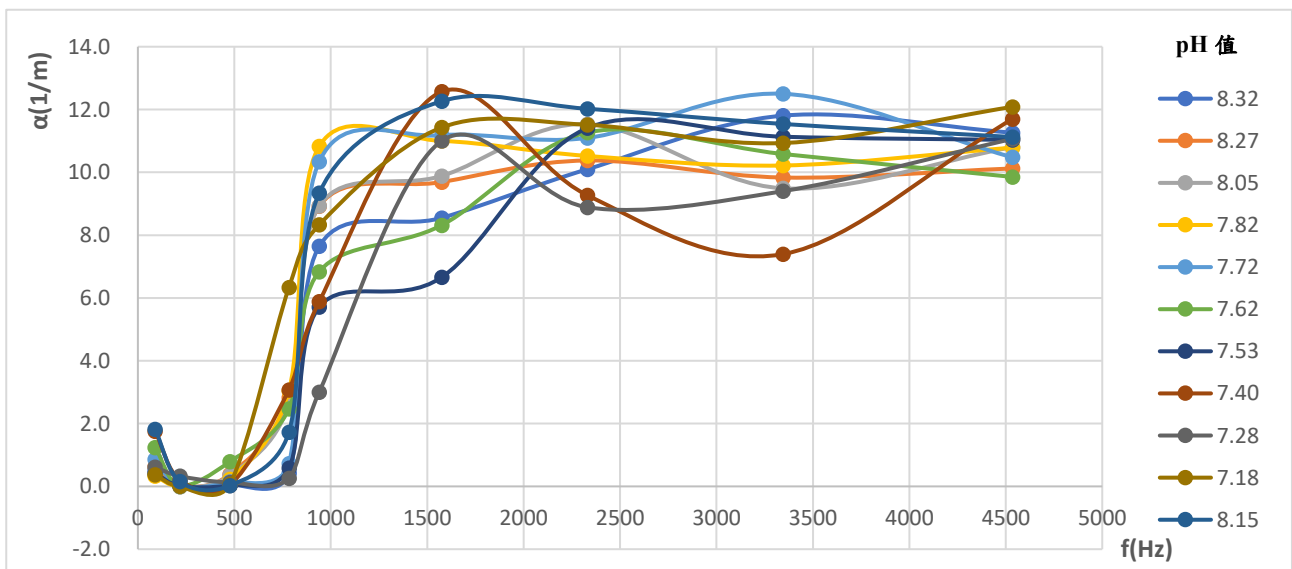


圖 5-4-3：不同酸鹼度下 α 值對各頻率之關係圖

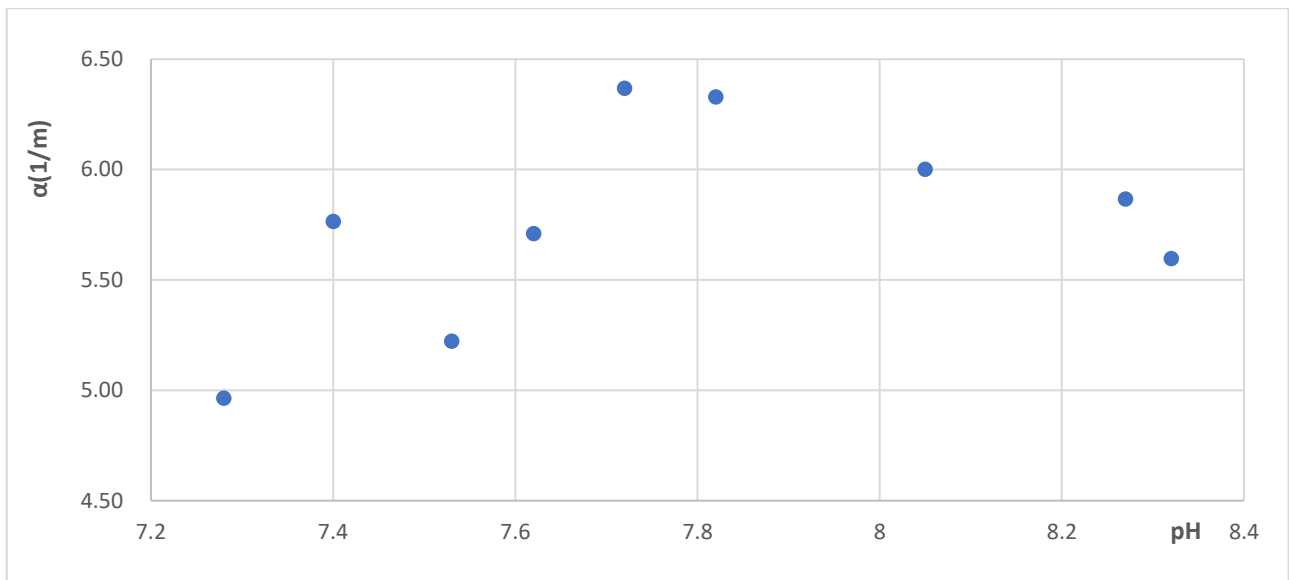


圖 5-4-4：不同頻率 α 的平均值對酸鹼度之關係圖

12. 探討不同水體鹽度對聲音被吸收或放大的程度

(1) 實驗步驟：

A. 準備實驗器材(模擬裝置、海水素、隔音裝置、電子秤、鹽度計、錄音筆、音響、手機 Physics Toolbox App、電腦 Audacity、Excel 軟體)。

B. 以不同比例海水素(鹽度分別為 10‰、20‰、30‰、35‰)調配足量海水素水溶液，以模擬水體。如圖 5-4-5。



圖 5-4-5：以海水素調配不同鹽度之模擬水體

C. 架設圖 5-3-1 器材並以手機連接音響，發出低至高頻率(200、500、5000、10000、12000、15000、17000Hz)、固定振幅之聲音。

D. 在無水的狀態下，測量音響所發出的音量(dB)，記錄 4 秒(約 20 萬組音量數值)。

E. 倒入 0.5m 高的模擬水體，測量音響所發出的音量(dB)，記錄 4 秒(約 20 萬組音量數值)。

F. 更換鹽度為 10‰、20‰、30‰、35‰的模擬水體，重複步驟 C~E。

G. 計算模擬水體對各頻率聲音的吸收率(式 5)，並繪製不同鹽度下模擬水體對聲音的吸收率對各頻率之關係圖。



圖 5-4-6：以鹽度計測量鹽度

$$\text{吸收率}\% = \frac{\text{無水數據(原始音量)} - \text{有水數據(水體傳聲音量)}}{\text{無水數據(原始音量)}} \times 100\% \quad (\text{式 5})$$

(2)測量結果：

鹽度‰ \ 頻率	10	20	30	35
200	-15.04	-0.14	-13.27	-6.79
500	-14.23	-15.56	-16.09	-15.31
5000	-16.89	-17.45	-17.82	-10.83
10000	-17.17	-16.11	-15.69	-13.03
12000	-13.72	-15.42	-12.02	-15.48
15000	-17.88	-15.88	-15.49	-17.33
17000	-6.44	-6.50	-9.59	-2.61
平均	-14.48	-12.44	-14.28	-11.62

表 5-4-2：不同鹽度下模擬水體對各頻率聲音的吸收率

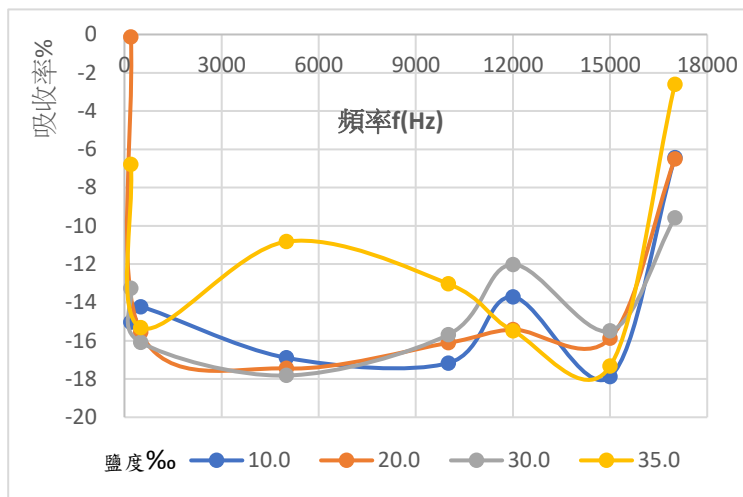


圖 5-4-7：不同鹽度下吸收率對各頻率之關係圖

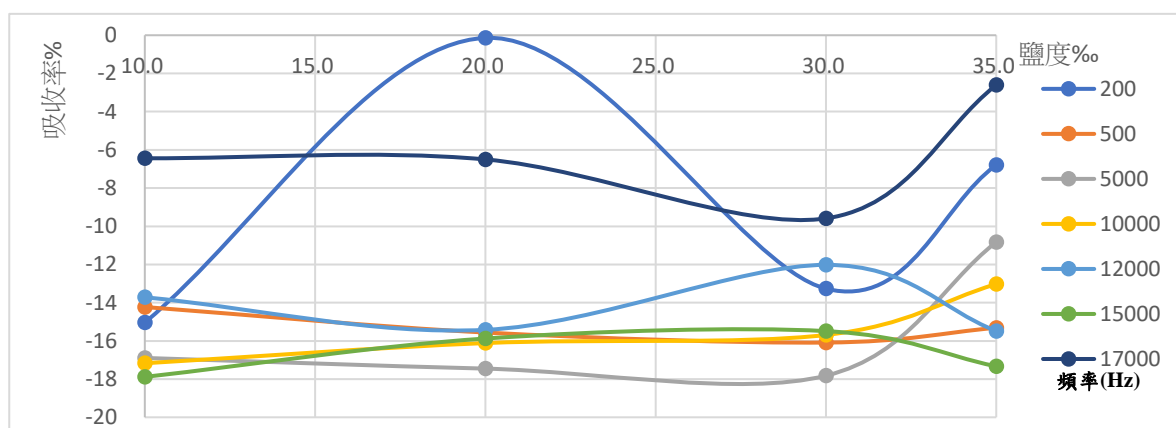


圖 5-2-8：不同頻率吸收率對鹽度之關係圖

(3)分析與討論：

在以上「探討不同水體酸鹼度對聲音被吸收或放大的程度」與「探討不同水體鹽度對聲音被吸收或放大的程度」實驗中，皆探討水體水質對聲音之影響。

A.不同水體酸鹼度對聲音被吸收或放大的程度

根據美國地球物理聯盟(簡稱 AGU)出版的期刊《地球物理研究通訊》(Geophysical Research Letters, GRL)中，西元 2008 年 10 月一篇《Unanticipated consequences of ocean acidification: A noisier ocean at lower pH》文章中指出，造成海洋酸化的主因為大氣中二氧化碳濃度的攀升，因此我們選用二氧化碳鋁瓶直接灌入模擬水體中，以控制水體酸鹼度。根據實際採樣的結果，我們製造 pH 值為 7.2~8.4 的水體環境。

從表 5-4-1 可見，不同 pH 值對各頻率 α 值的平均值皆為正值，代表聲音被水體所吸收。而從圖 5-4-3 可見，多數 pH 值環境下在 900~1000Hz 之間聲音的 α 值劇烈上升，代表高於此頻率，聲音被吸收的程度增加許多；而低於此頻率的聲音，聲音被吸收的程度較弱。此結果表明，小於 1000Hz 低頻聲音較容易被水體吸收。

不過在圖 5-4-4 可見，將各頻率聲音的 α 值作平均，以代表環境混雜的音源(移除偏差太大的數據點：pH7.18、8.15)。將圖 5-4-4 以 pH7.72 為界分成獨立二圖，如圖 5-4-9 和 5-4-10。從圖 5-4-9 中可見，由 pH7.72 到 7.28 過程中 α 值下降程度明顯(趨勢線斜率為 2.42)，表示水體的酸化具有減小 α 值的能力；然而圖 5-4-10 中，由 pH7.72 到 8.32 過程中 α 值也下降，較前者下降程度少(趨勢線斜率為-1.18)。此結果表明了，水體的鹼化同樣能減小 α 值，減弱聲音被吸收的能力，因而放大聲音。只是相較於水體的酸化，程度較弱。

而水體在由鹼變酸的過程中， α 值呈現先升再降。由圖 5-4-9 和 10 可見， α 的峰值位於 pH7.72 處，表示水體吸收聲音能力在此區間有一界線。

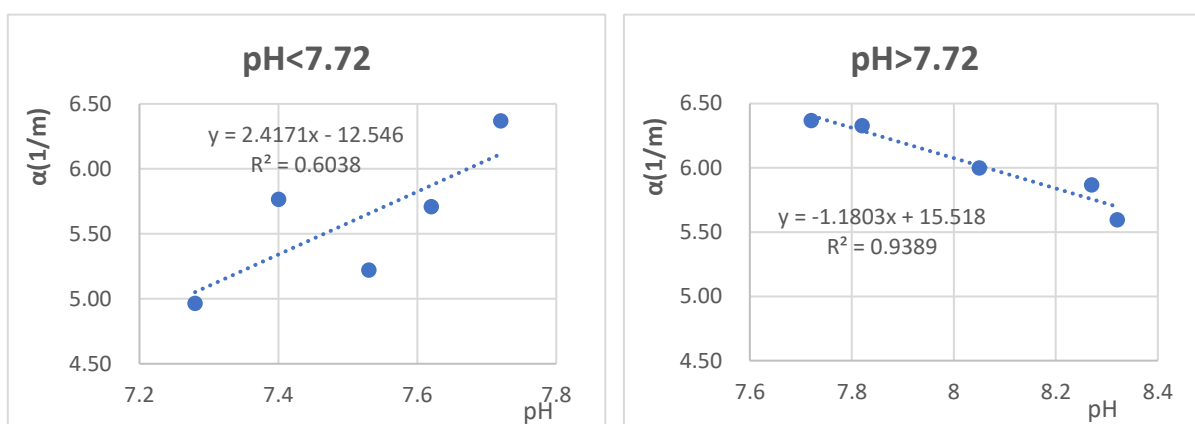


圖 5-4-9(左)：不同頻率 α 的平均值對酸鹼度(<7.72)之關係圖

圖 5-4-10(右)：不同頻率 α 的平均值對酸鹼度(>7.72)之關係圖

B. 不同水體鹽度對聲音被吸收或放大的程度

依據「聲音衰減的斯托克斯定律」(Stokes's law of sound attenuation), $A(d) = A_0 e^{-\alpha d}$ 為聲波振幅隨傳遞距離衰減的公式。其中 α 值為能量遞減速率， α 值越大代表吸收程度越高；反之則越低。斯托克斯定律也提及， α 值與流體密度呈一次方反比。因此，我們假設水體鹽度將影響聲音吸收和放大。

從表 5-4-2 可見，不同鹽度下對各頻率吸收率的平均值均為負值，代表所有聲音被水體所放大。圖 5-4-7 也可見除了 0.2kHz 和 17kHz 外，其他頻率皆有顯著的放大，約放大 12~18% 左右。然而，從圖 5-2-8 可見除了 0.2kHz 和 17kHz 外，各頻率放大的程度並無隨鹽度而有明顯變化的趨勢。而 10~35‰ 的鹽度約為淡水至鹹水的差異，因此結果表明，多數頻段聲波音量並不因淡水鹹水而有明顯不同。

C. 小結

在上述二實驗中，可見水體吸收或放大聲音的能力，在 pH 值 7.28~8.32 之間，與 pH 有明顯相關性，而在鹽度 10~35‰ 之間，與鹽度並無明顯相關性。

陸、綜合討論

一、吸聲係數與 pH 值

根據 AGU 期刊《地球物理研究通訊》中，1995 年 5 月一篇文章《The pH of the North Atlantic Ocean: Improvements to the global model for sound absorption in seawater》提及「在低於 1 kHz 的頻率下，海洋中的吸聲係數是 pH 值的函數」，此處所指的吸聲係數即為前述之 α 值。本實驗中模擬實驗的圖 5-4-3 亦表明上述結果： α 值在小於 1kHz 時隨 pH 值變化顯著。

而同樣是 AGU 期刊《地球物理研究通訊》的《Unanticipated consequences of ocean acidification: A noisier ocean at lower pH》中預期的 α 值在各頻段中隨 pH 改變的變化，如圖 6-1-1。二者同樣顯示吸聲係數與 pH 值的關係。因此，本實驗藉由實地採樣與模擬實驗，同時探討二者之間的關係。

根據模擬實驗結果(圖 5-2-4)和實地採樣結果(圖 5-2-8)，可見在 pH 7.6~7.8 以下時，吸聲係數與 pH 值呈現正相關。不論模擬或實地採樣，結果與文獻一致：酸化水體將導致水體吸收聲音的能力下降。

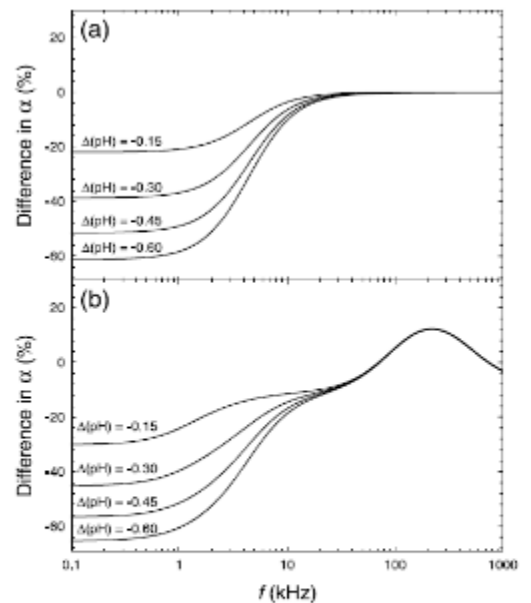


Figure 3. Percent difference in sound absorptivity in seawater between 0.01 to 1000 kHz for (a) a decrease in pH from 0.15 to 0.6 and (b) lower pH accompanied with a 3°C increase (initial conditions: S = 35, T = 12°C, pH = 8.1, D = 0.05 m).

圖 6-1-1

然而，上述二圖在 pH7.6~7.8 以上時，吸聲係數皆與 pH 值呈現負相關，亦即鹼化水體亦會造成吸收聲音的能力下降，只是鹼化水體吸收聲音的能力下降較酸化水體慢。此結果在文獻中並未提及，依據吸聲係數之峰值出現在 pH7.6~7.8，猜測可能與水溶液中氫離子與氫氧根離子二者濃度之間的震盪有關：當其中一者數量較多時，造成吸收聲音能力下降。此假設需進行更多實驗驗證。

二、吸聲係數與鹽度

在模擬實驗中，可見所調控之鹽度與吸聲係數(圖 5-4-7)無明顯關聯。然而，實地採樣結果(圖 5-2-6)中，吸聲係數在鹽度下降與上升時皆變小(以鹽度 14.5‰為界)。若結合模擬實驗與實地採樣結果來看，圖 5-2-6 中吸聲係數的變化應主要受到 pH 值影響。因此，各採樣點的鹽度應不足以影響吸聲係數的變化。

三、聲音的放大與吸收

在模擬實驗中，酸鹼度、鹽度結果和實地採樣結果中有許多數據顯示吸聲係數為負值，意即聲音受到水體放大的現象。例如，在實地採樣顯示水中環境聲音在多數採樣點比岸上環境聲音大。由於實地採樣實驗之收音裝置多半是懸吊在水中，並非直接碰觸水體底部，因此應與採樣點之底部地質與地形無關。我們猜測實地採樣的環境音源多元與空間開闊，亦造成共振現象，使水體放大環境聲音。同樣，此假設需進行更多實驗驗證。

柒、結論

- 一、水體的酸化和鹼化，皆能使吸收聲音的能力下降。實際採樣結果高雄市各水體 pH 範圍為 7.19~8.84，水體吸收聲音能力在此區間存在一峰值。模擬實驗結果水體 pH 範圍為 7.28~8.32，水體吸收聲音能力在此區間也存在一峰值。二者峰值皆在 pH7.6~7.8 之間。
- 二、使吸收聲音的能力下降較多者為水體的酸化，較少者為水體的鹼化。實際採樣與模擬實驗結果相符。
- 三、水體鹽度與吸收聲音的能力，並無顯著關聯。實際採樣結果高雄市各水體鹽度範圍為 0~30‰，模擬實驗中得知此範圍內吸聲能力在多數頻率中相近。

捌、未來研究與應用

- 一、本研究實地採樣發現吸聲係數有一峰值出現在 pH7.66，未來能在此發現上進行假設與實驗設計，探究其因。
- 二、本研究在實驗中發現多組聲音經水體放大，未來能在此發現上進行假設與實驗設計，探究其因。
- 三、本研究在未來實地採樣中能增加更多採樣點，以求建立高雄市區水體更完整的採樣資料。
- 四、本研究在未來可改良模擬實驗，降低誤差，亦找出 pH 值等因素影響吸聲係數的函數。
- 五、本研究欲假設酸化與鹼化皆使吸聲係數下降的原因並設計驗證實驗，受疫情影響而未完成且仍繼續實驗中，將補充在未來報告中。

玖、參考資料

1. Keith C. Hester Edward T. Peltzer William J. Kirkwood Peter G. Brewer (2008)。Unanticipated consequences of ocean acidification: A noisier ocean at lower pH。GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 35, 2008.10。
2. Peter G. Brewer David M. Glover Catherine Goyet Deborah K. Shafer(1995)。The pH of the North Atlantic Ocean: Improvements to the global model for sound absorption in seawater。GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS。
3. 桃園縣楊梅市瑞塘國民小學(2014)。海洋酸化對噪音傳播的影響。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會。
3. 行政院環保署(2019)。水下噪音測量方法。環署授檢字第 1080001171 號公告，2019.02。
4. 維基百科。Stokes's law of sound attenuation。
5. 陳正虔、莫顯蕎(2018)。海洋的聲音生態與保育。科技大觀園。
6. 陳琪芳、胡惟鈞、徐淑貞(2019)。離岸風場水下噪音。科學發展 560 期，2019.08。

【評語】 030507

【優點】

1. 此研究與環境相關，探討水中的吸聲係數與 pH 值的關係，後者為未來海洋環境的重要議題。
2. 科學方法的使用，具成熟的概念，實驗有趣(包含現地實驗與室內實驗)；牽涉科學知識較廣。
3. 科學數據的分析過程嚴謹(例如錄音筆有做量度校正)。
4. 問題回答切合主題，且有抓住重點。

【建議】

1. 實驗目的明確，但如能增加討論探索其他變因(例如溫度或躍溫層、濁度、聲音頻率等)，能增加創新性及啟發性。
2. 未來可多了解聲波在海水中傳遞的物理、化學的機制與特性。

作品簡報

030507

聽海哭的聲音 ~探討影響海洋噪音的因素

國中組

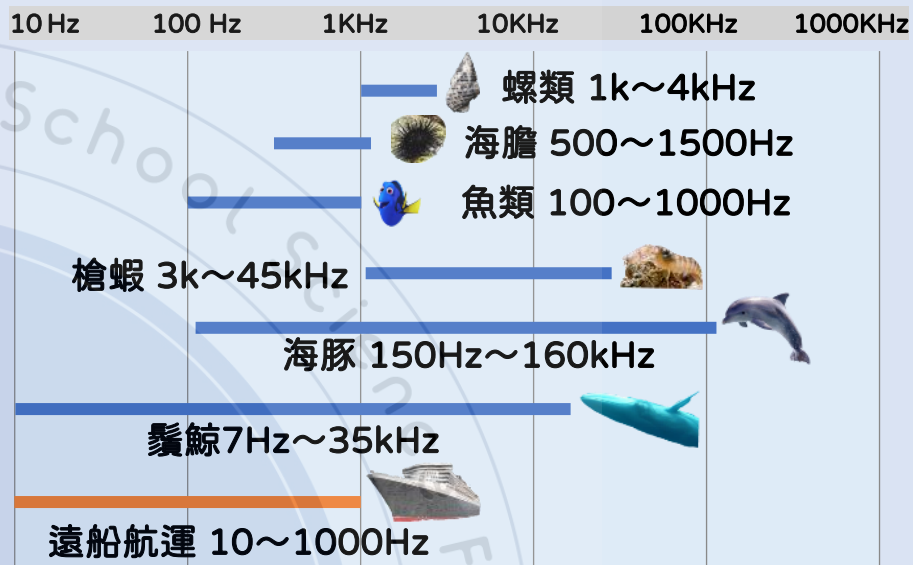
地球科學科

前言

海洋噪音對生態的影響從食物鏈底層至頂端，影響範圍廣大，探究海洋噪音的成因及影響因素可幫助我們了解並加以改善海洋環境。

部分海洋生物依賴海中聲景進行移動或求偶等生存行為，像是鯨豚的游向與覓食，珊瑚礁生態系的維持與品質等。

因此，海事工程、魚探、航運、觀光等人為噪音污染，足以逐漸瓦解海洋生態系。



(來源：科技大觀園)

來源	主要頻率(kHz)
商業航運	<1
資源勘探和開發	0.05~2
漁業	<1~260
海洋科學研究	<1
娛樂活動、旅遊業	<0.2-10

(來源：聯合國大會第七十三屆會議2018.03)

理論與假設

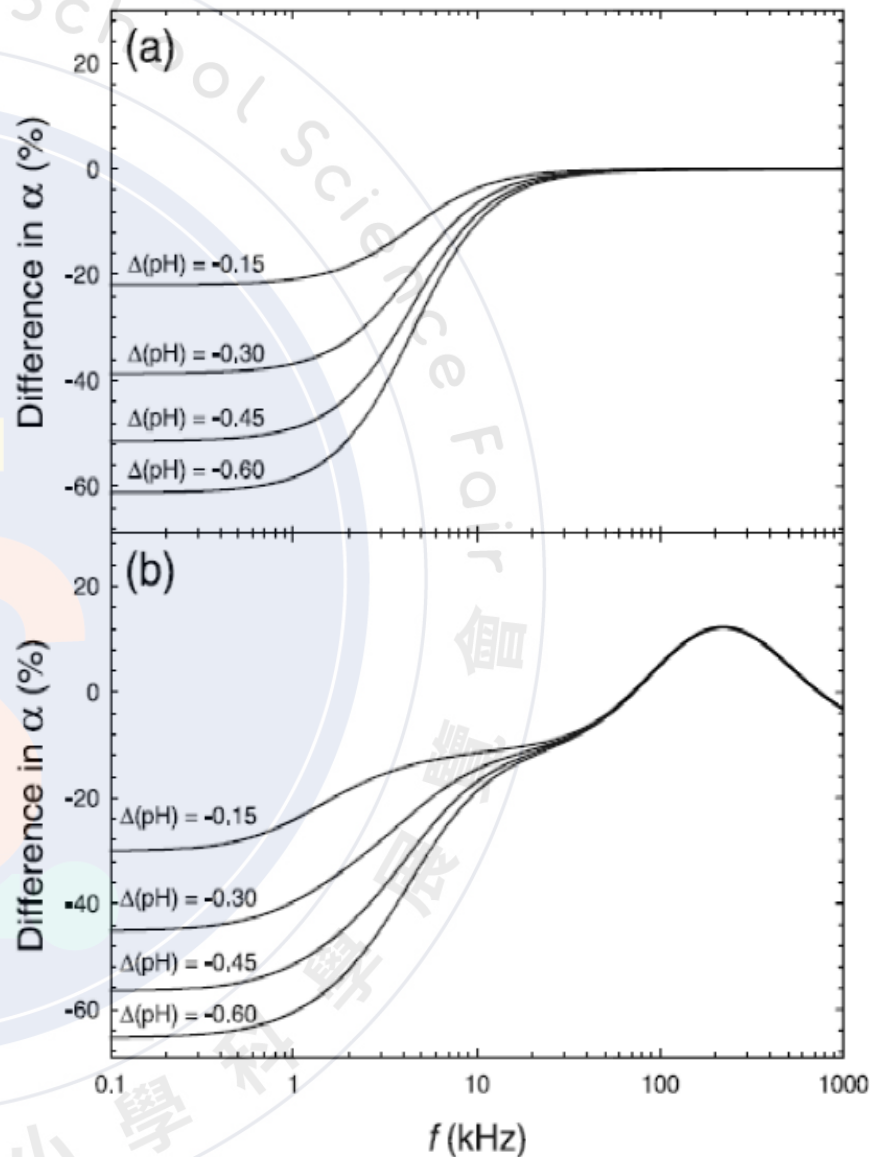
理論

AGU 期刊《地球物理研究通訊》的《Unanticipated consequences of ocean acidification: A noisier ocean at lower pH》中預期的吸聲係數 α 值在各頻段中隨 pH 改變的變化。

假設

實際水體與模擬水體之：

- (1) 水體越酸， α 值越小。
- (2) 水體越鹹， α 值越大。
- (3) 聲音穿過水中會被吸收， α 應為正值。



(圖片來源：地球物理研究通訊)

聲音衰減的斯托克斯定律

Stokes's law of sound attenuation

$$\alpha \cong \frac{dB_0 - dB(d)}{4.34d} = \frac{\Delta}{4.34d}$$

實驗方法-實地採樣

選擇採樣點

水體採樣

噪音採樣

將取水裝置放入水中

將實驗裝置放入水中

取水

測量水深(d)

在水中和岸上同時用錄音筆測量聲音

測量水體pH值及鹽度

將測量到的資料匯出成Excel檔

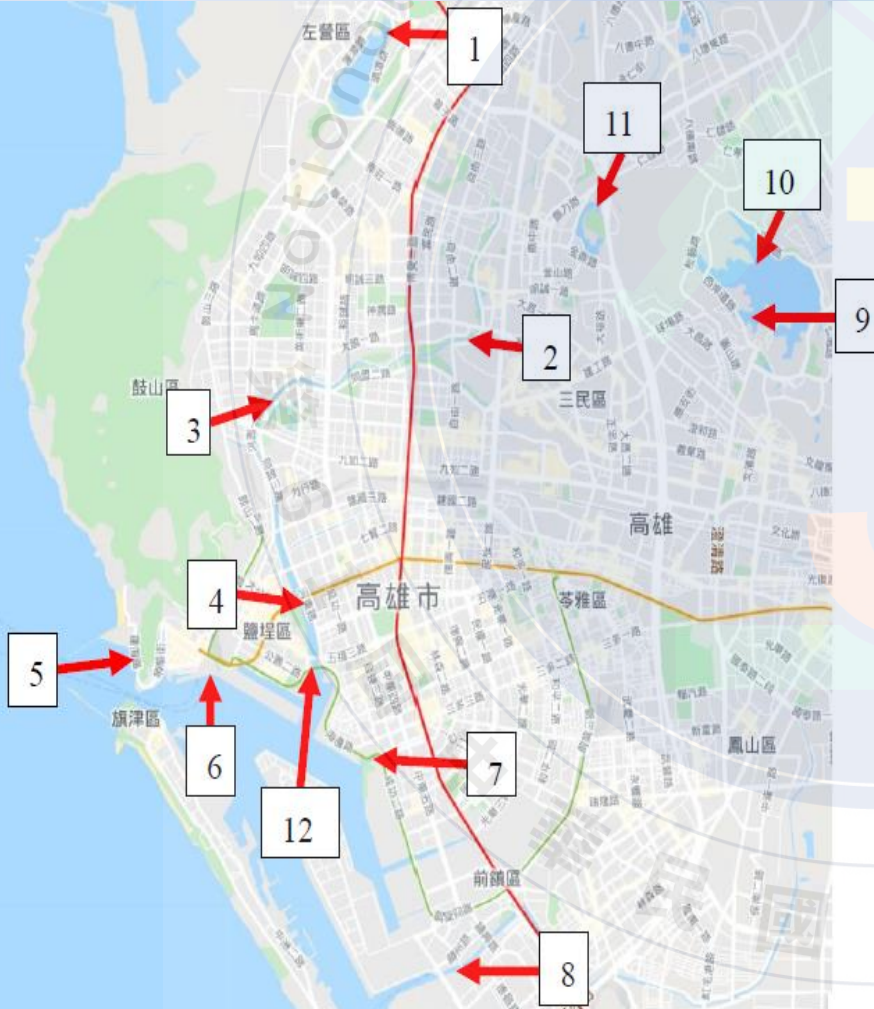
代入並計算吸聲係數(α)

以 α 對pH值和 α 對鹽度作圖



實驗方法-實地採樣

National Pingtung University & High School



聲音衰減的斯托克斯定律

Stokes's law of sound attenuation

實驗方法-模擬實驗

$$\alpha \cong \frac{dB_0 - dB(d)}{4.34d} = \frac{\Delta}{4.34d}$$

設計實驗

架設器材

將器材(水管)清空(對照組)

調配並倒入要不同pH值、鹽度的水體
(操作組)

用手機連結喇叭發出聲音

用錄音筆測量聲音

將測量到的資料匯出成Excel檔

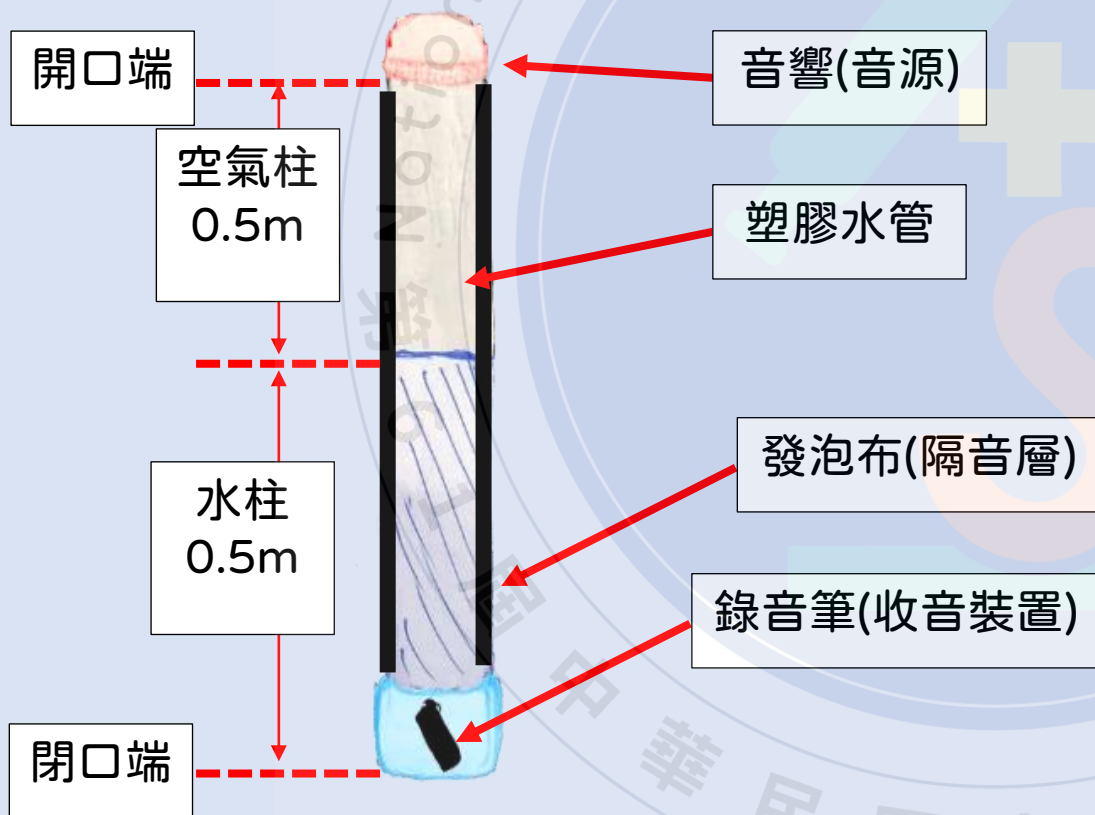
代入並計算吸聲係數(α)

以 α 對pH值和 α 對鹽度作圖

聲頻選擇
依照實地採樣結果而模擬

水體pH值、鹽度選擇
依照實地採樣結果而模擬

實驗方法-模擬實驗





實驗比較與改良

改良自我實驗

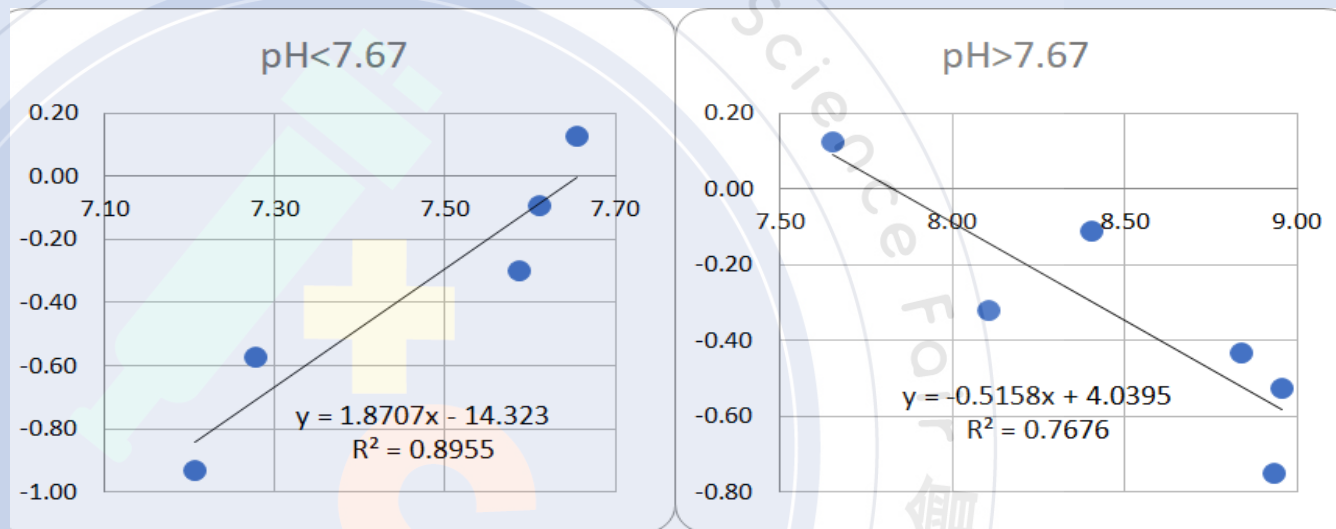
	實地採樣	模擬實驗
目的	觀察 實際情況	驗證 採樣結果
水體鹽度	不固定	可固定
水體ph值	不固定	可固定
變因	多	單一
與聲音吸收或放大的關聯性	鹽度、ph值皆有相關性	ph值有明顯關聯；鹽度則無

改良他人實驗

	海洋酸化對噪音傳播的影響	聽海哭的聲音
實地採樣	無	有
聲音頻率	參考環保署資料(自訂)	挑選 實際水體 較顯著的音源頻率
水體ph值	ph6.8-8.4(共5種，自訂)	pH7.18-8.32(參考 高雄水體 ，共11種)
結論	水體酸化使海中噪音變大	酸化和鹼化，皆能使吸收聲音的能力下降； 吸收聲音能力的峰值在pH7.6~7.8之間

(來源：瑞塘國民小學2014，中華民國第54屆中小學科學展覽會)

結果與討論



實地採樣

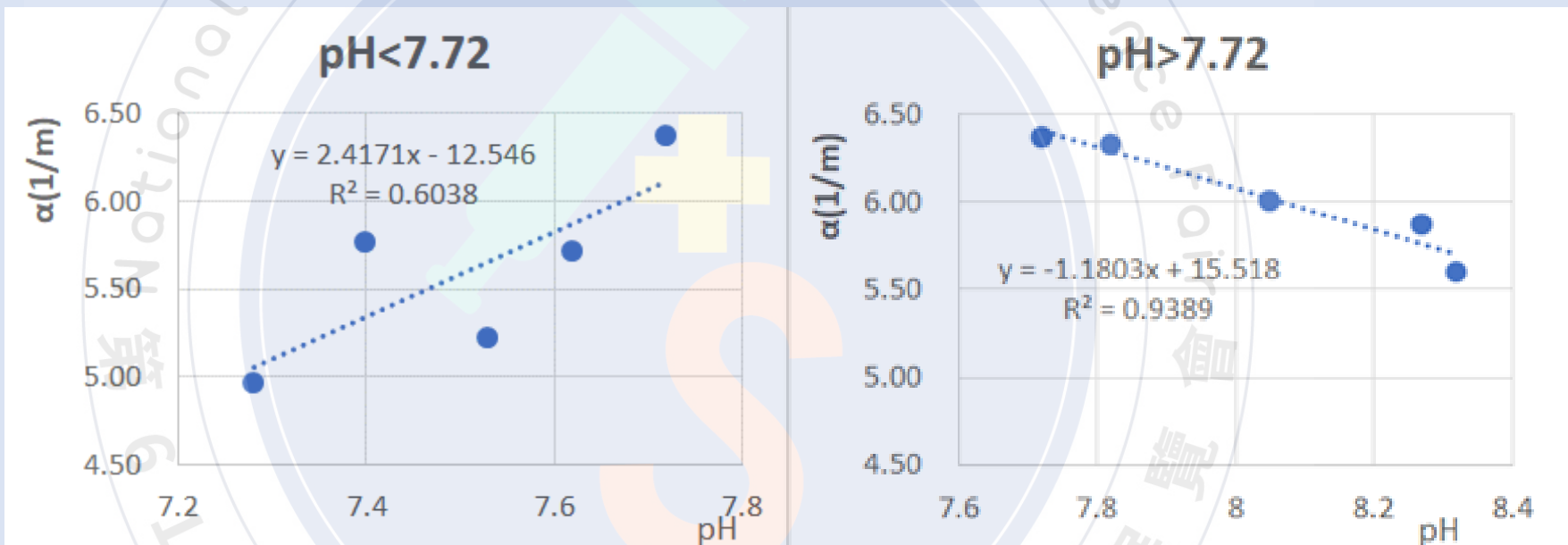
(1)pH值、鹽度採樣：

- 封閉水域的內陸湖泊偏鹼性；而開放水域的河段偏酸。
- 鹽度部分則顯著隨地理位置而有規律性的改變。

(2)數據處理及分析：聲音吸收或放大的程度(α 值)與水體pH、鹽度在不同範圍內有相關性。

- 酸鹼度以pH7.67為界，pH < 7.67時 α 值隨pH下降而變小；
pH > 7.67時 α 值隨pH上升亦變小。
- 鹽度以14.5‰為界線，小於14.5‰時鹽度下降， α 值降低；
大於14.5‰時鹽度上升。

結果與討論

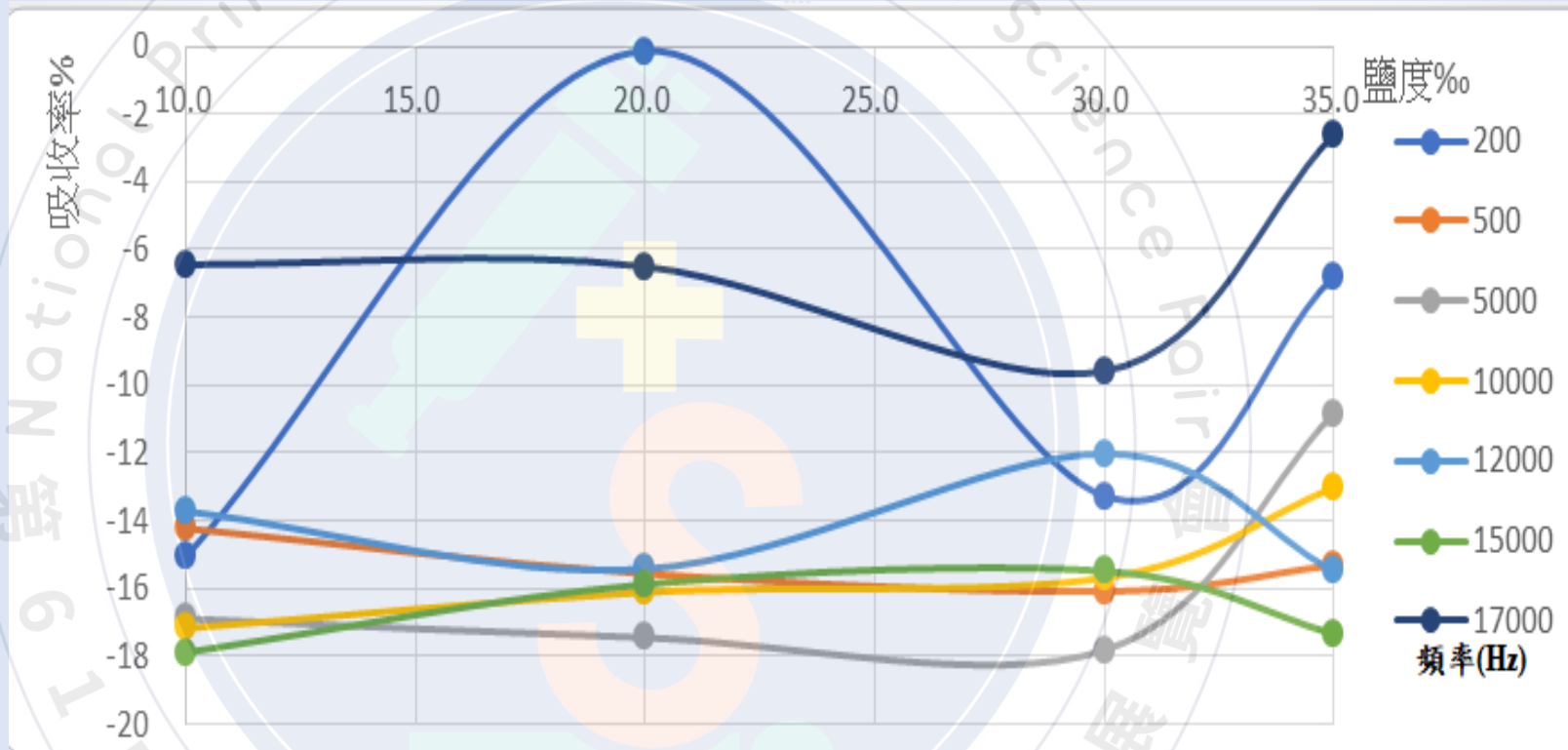


模擬實驗

(1) 酸鹼度

- 不同pH值對各頻率 α 值的平均值皆為正值，代表聲音被水體所吸收。
- 多數pH值在小於1000Hz低頻聲音較容易被水體吸收
- 水體的鹼化使 α 值下降(聲音吸收較少)，程度較水體酸化弱。
- 吸收聲音能力的界線位於pH7.72。

結果與討論



模擬實驗

(2) 鹽度

各頻率放大的程度**並無**隨鹽度而有明顯變化的趨勢，結果表明，多數頻段聲波音量並不因淡水鹹水而有明顯不同。

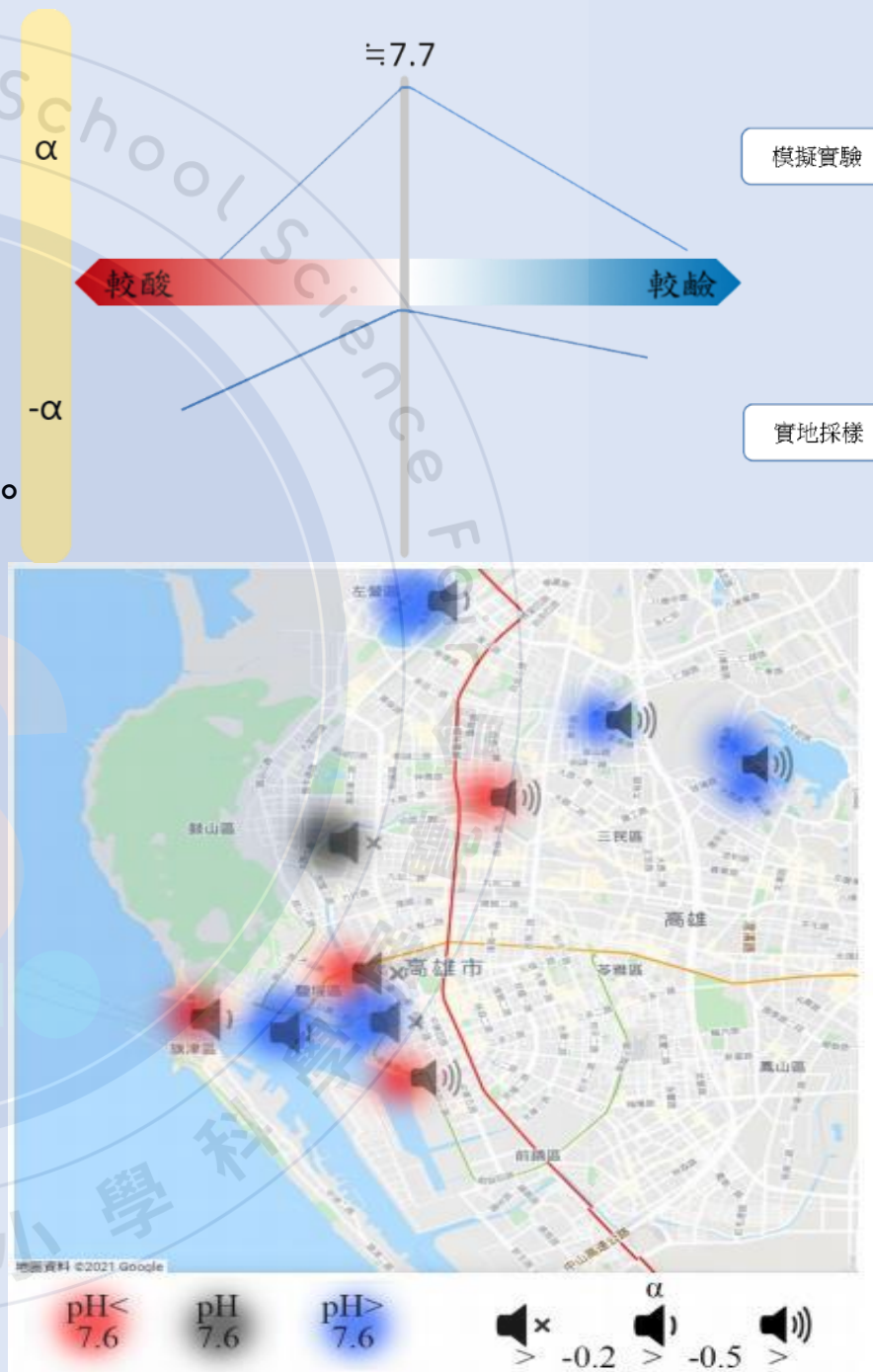
結論與未來展望

結論

- 一、水體的**酸化**和**鹼化**，皆能使吸收聲音的能力**下降**。
- 二、使吸收聲音的能力下降**較多**者為水體的**酸化**，**較少**者為水體的**鹼化**。
- 三、水體鹽度與吸收聲音的能力，並無顯著關聯。
- 四、吸收聲音能力的**峰值**在**pH7.6~7.8**之間。

未來展望

- 一、探究為何吸聲能力在pH7.6~7.8之間有一峰值。
- 二、探究為何吸聲能力隨水體鹼化而下降。
- 三、改良模擬實驗，找出pH值等因素影響吸聲係數的函數。



模擬實驗

實地採樣