

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

最佳創意獎

080509

海洋酸化對噪音傳播的影響

學校名稱：桃園縣楊梅市瑞塘國民小學

作者： 小五 張觀文 小五 高宸翔 小五 楊廷威 小五 陳芷芸 小五 楊忠蓓 小五 梁祐維	指導老師： 賀芝庭
---	------------------

關鍵詞：海洋噪音、鯨魚聽力、海洋聲學

海洋酸化對噪音傳播的影響

摘要

低頻的噪音能夠順利的穿透海水，而中高頻的噪音因為無法穿透，而音量明顯的比較低。當海水開始慢慢變酸，酸鹼值從 8.4 降到 6.8 時，低頻噪音的音量會逐漸變大，而中頻噪音不會有明顯變化。水溫增加時，低頻噪音的音量也會隨著變大聲。因此，當海洋逐漸變酸，酸鹼值及水溫的改變，會讓低頻噪音的音量變大，而影響海中生物。大氣泡袋對於 50Hz、150Hz、1000Hz 和 1000Hz、2000Hz、3000Hz 有較好的阻擋效果，主要原因是聲音進入空氣和海水等不同物質造成損耗，以及凹凸不平程度大增加摩擦力因而消耗聲音的能量。

壹、研究動機

我和弟弟在看電視的時候，看到海洋噪音會因為海洋酸化和全球暖化而變大聲，使海中鯨魚和海豚的生活及溝通受到影響，所以對這個主題產生強烈的興趣。我們就找了幾個對海洋噪音和海洋酸化議題有興趣的同學一起做實驗，研究看看那些因素的改變會讓海洋噪音問題惡化？還有哪些方法可以降低海洋噪音的音量喔！

貳、研究目的

- 一、不同頻率噪音在海水中傳遞的音量變化。
- 二、不同頻率噪音隨著海水變酸，音量的變化。
- 三、不同頻率噪音在不同水溫海水中的音量變化。
- 四、不同材質隔板對於海洋噪音阻擋效果。

參、研究設備及器材

一、器具

- | | |
|-------------|---------------|
| 1.玻璃水槽 1 個 | 7.防水袋兩個 |
| 2.噪音計 1 支 | 8.轉接線 1 條 |
| 3.筆記型電腦 1 台 | 9.筆型 pH 計 1 支 |
| 4.數位相機 1 台 | 10.光學比重計 1 支 |
| 5.小喇叭 1 個 | 11.溫度計 1 支 |
| 6.加溫棒 1 支 | |

二、材料

- | | |
|------------|----------------|
| 1.海水素 1 包 | 8.魔鬼氈(公端)×14cm |
| 2.過濾棉 1 包 | 9.魔鬼氈(母端)×14cm |
| 3.泡棉網 1 張 | 10.鐵尺 30cm 2 支 |
| 4.小氣泡袋 1 個 | 11.針 2 支 |
| 5.大氣泡袋 1 片 | 12.白線一卷 |
| 6.樂高積木 2 片 | 13.絕緣膠帶(黑色)2 捲 |
| 7.智高積木 2 片 | 14.泡棉膠帶 1 捲 |

肆、研究過程或方法

一、探討不同頻率噪音在海水中傳播情形

(一)海水是低頻噪音的通道

海洋的噪音來自船舶、海浪拍打，甚至是軍事演習魚雷爆破[1]。這些噪音有的只在淺海傳遞，有的甚至能傳播到深海，讓鯨魚和海豚，和大王魷魚等深海活動的生物，受到干擾及致命性的傷害[2]。海水能讓低頻的聲音通過，卻能擋住大部分高頻的聲音，這是海水原有的一種物理性質[1]。






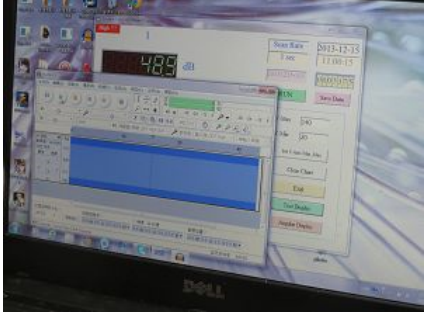
(二)模擬實驗的作法

我們使用小喇叭當成噪音源(使用 Audacity 軟體製造出不同頻率的單音)，裝在防水袋裡固定在水族箱一端，另一端則用噪音計(放在防水袋中)測量相隔固定距離所接收到的音量大小，所有數據每隔一秒鐘記錄在檔案中，再轉換成 Excel 檔案進行整理分析。

分別做出低頻(50Hz、100Hz、150Hz、200Hz)[3]、中頻(1000Hz、2000Hz、3000Hz、4000Hz)和高頻(10000Hz、11000Hz、12000Hz、13000Hz、14000Hz)共 13 組頻率。

實驗之前在沒有海水的空箱狀態下，每種頻率先測三次的音量，將筆電喇叭的音量盡量調整接近 50 分貝，三次平均當成背景值(分母)。等到加入海水後，再以空箱背景值控制筆電喇叭輸出音量，每個頻率測量三次數據(35 秒×3 次=105 秒)平均後，減掉原來的背景值再除以分母，求出百分比，再畫出折線圖觀察趨勢。

實驗步驟如下：

1.先測量不同頻率空箱音量大小，得知筆電喇叭音量值	2.調配人工海水，加入海水素，用大湯匙攪拌	3.用光學比重計測量海水比重，至比重 34‰為止
		
4.以先前背景值當成參考，控制筆電喇叭音量近 50 分貝	5.以小喇叭發出噪音，分別測出低中高频三組噪音音量	6.使用噪音計專用 Lutron801 軟體分析分貝數
		

圖一 不同頻率 50 分貝噪音傳播情形實驗步驟圖

二、探討在不同酸鹼度(pH)海水中噪音傳播情形

(一)海洋酸化導致高頻噪音傳遞更遠







當海水吸收大氣中的二氧化碳變酸，海水中的硫酸鎂和硼酸的分解和合成反應受到干擾，海洋噪音就會傳遞得更快更遠[1]，許多人為活動造成的噪音，就會影響到海豚的溝通和鯨魚的交配及覓食等行為。


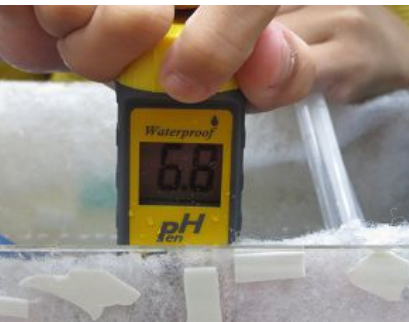

(二)模擬實驗的做法

我們請兩三位自願的同學輪流用吹氣的方式，用吸管將吐出的廢氣吹入海水中，然後用筆型 pH 計測量海水的 pH 值，從剛開始 pH8.4，分別做出 8.0、7.6、7.2、6.8 等不同酸鹼值海水中，低中高頻噪音分貝數的改變。

同樣使用小喇叭搭配軟體輸出低頻(50Hz、100Hz、150Hz)、中頻(5000Hz、6000Hz、7000Hz)60分貝噪音，總計 30 組小實驗(5 種酸鹼值×6 種頻率)，每組小實驗要測試三次再平均，然後每次實驗用噪音計測量 50 秒內分貝數的變化，數據透過轉接頭傳到筆電儲存，最後轉換檔案成為 Excel 檔，擷取 105 秒數據(35 秒×3 次)平均，除以 pH8.4 背景參考值求取百分比，再繪製成折線圖，分析討論結果。

我們的實際做法如下：




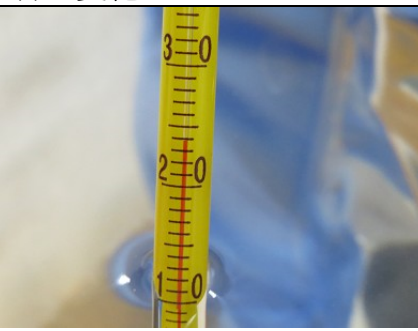
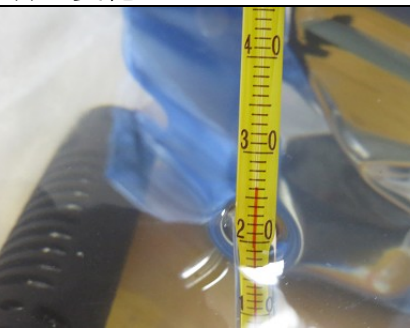
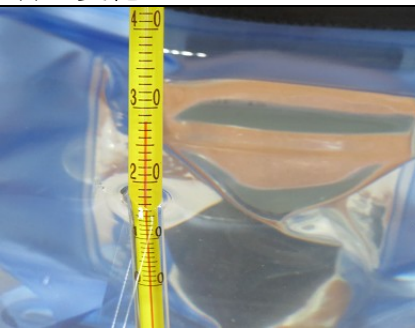
1.將海水素加入 R.O.水中，配製比重 34‰的人工海水	2.將噪音計和小喇叭固定在水族箱的兩端	3.測量不同頻率噪音在 pH8.4 的海水中，35 秒內分貝數
		
4.用吸管吹入二氧化碳，使酸鹼值降低。	5.吹入二氧化碳，使海水變酸 當海水 pH8.0 時，開始再次測量不同頻率噪音的音量	6.當海水 pH7.6 時，再次測量不同頻率噪音的音量
		

7.當海水 pH7.2 時，再次測量不同頻率噪音的音量	8.當海水 pH6.8 時，再次測量不同頻率噪音的音量	9.儲存數據，利用軟體 Lutron801 分析音量變化
		

圖二 不同酸鹼值海水中中低頻 60 分貝噪音傳播狀況實驗步驟圖

三、探討不同水溫海水噪音傳播情形

當全球暖化海洋酸化時，海水溫度也會開始上升，為了瞭解「水溫」對不同頻率噪音傳播的影響，所以在 20°C、22°C、24°C、26°C、28°C 和 30°C 水溫條件下(用加溫棒加熱並不斷攪拌海水讓熱度均勻分佈，水溫在冬天室溫下可保持半小時下降 0.5 度，水溫計由水族館購得)，將噪音計和小喇叭裝入防水袋，以絕緣膠帶固定在水族缸兩側，在 20°C 時分別發出 50Hz、100Hz、150Hz（低頻）和 1000Hz、2000Hz、3000Hz（中頻）噪音（共計 6 種水溫×6 種頻率共 36 組實驗），每組實驗測 3 次，每次測 50 秒取 35 秒（扣除極端分貝值），以 105 秒來平均，結果計算至小數點後第三位。

1.配置人工海水	2.原始水溫 20°C，測試不同頻率音量變化	3.水溫 22°C 時，測試不同頻率音量變化
		
4.水溫 24°C 時，測試不同頻率音量變化	5.水溫 26°C 時，測試不同頻率音量變化	6.水溫 28°C 時，測試不同頻率音量變化
		

圖三 不同水溫海水中噪音傳播情況實驗步驟圖

四、探討不同阻隔材料阻擋海洋噪音效果

(一)為了將岸上的人為噪音阻隔，科學家目前進行試驗，在海底向上噴發一整排細小水泡，藉以隔絕噪音，影響鯨豚及大王魷魚等深海生物的生活。

(二)我們使用：(包水果用的)泡棉網、(防壓抗震包瓷器的)氣泡袋(大，半徑 0.5cm)、氣泡袋(小，半徑 0.3cm)、樂高積木綠色底板和智高積木灰色洞洞板，五種材料進行實驗。

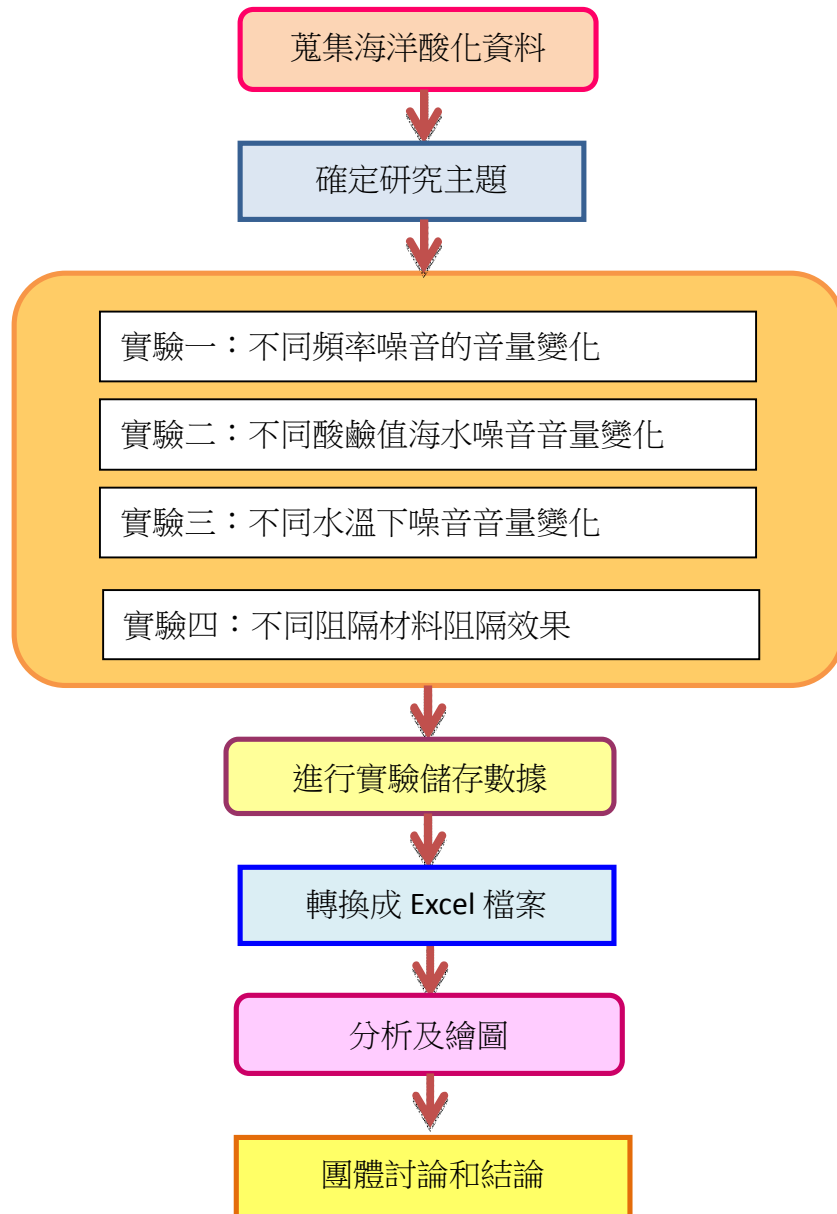
使用小喇叭產生低頻(50Hz、100Hz、150Hz)噪音和中頻(1000Hz、2000Hz、3000Hz)60 分貝噪音，泡棉網測試低頻三種中頻三種噪音，氣泡袋(小)測試低頻三種中頻三種噪音，總共是五種材料乘以六種頻率共三十組小實驗，每組小實驗共測試三次平均，每次測試五十秒，擷取 35 秒扣除噪音干擾 (35×3=105 秒，計算至小數點後第三位)。



圖四 不同材質隔板阻擋噪音狀況實驗步驟圖

五、研究流程圖

我們蒐集海洋酸化與海水物理聲學相關書籍資料後，經過討論，決定出四個研究主題，並開始設計實驗工具，尋找適合的實驗地點，購買實驗器材，依照圖五的實驗流程圖，進行我們的實驗。



圖五 實驗流程圖

伍、研究結果

一、低頻噪音大部分都能通過，中頻和高頻噪音大部份被海水吸收

(一)在空氣中先測量出各頻率分貝 50 的背景值

由於我們的實驗裝置是縮小版的模擬實驗，所以與真實噪音相比，音量應該要降低一些。經過我們實驗發現，現有的小喇叭，分別以 50 分貝、60 分貝和 70 分貝三種音量，去作出低頻(50Hz、100Hz、150Hz、200Hz、400Hz)和中頻(1000Hz、2000Hz、3000Hz、4000Hz、5000Hz、6000Hz、7000Hz、8000Hz、9000Hz)和高頻(10000Hz、11000Hz、12000Hz、13000Hz、14000Hz、15000Hz)的音量測試，結果發現只有 50 分貝時，才能發出所有頻率的聲音，因此這部分的實驗，我們就將音量設定在 50 分貝。

我們查詢網路資料，知道 50Hz~200Hz 屬於低頻聲音，10000Hz 以上屬於高頻聲音[3]，人耳所能聽到的聲音頻率範圍是 20Hz~20000Hz，座頭鯨發出的聲音是 20Hz~10000Hz[4]。因此，我們將小喇叭的頻率設定在 50Hz~200Hz 為低頻噪音區，1000Hz~4000Hz 為中頻噪音區，10000Hz~14000Hz 為高頻噪音區。

結果，每個頻率測量 50 秒各兩次之後，只選取 35 秒兩次數據除以 70，算出的數據是每個頻率小喇叭所發出的真實的分貝數，我們稱為空箱背景值，結果如表一：

表一 不同頻率噪音在空箱狀況下的背景值表

分類	低頻噪音				中頻噪音			
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	200Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz	4000Hz
分貝數	50.27	49.28	52.54	49.39	52.03	50.39	49.66	49.41
標準差	0.728	0.703	0.170	0.420	0.220	0.301	1.490	1.795

分類	低頻噪音				
頻率	10000Hz	11000Hz	12000Hz	13000Hz	14000Hz
分貝數	50.39	49.48	49.13	49.82	49.34
標準差	1.548	1.349	1.198	0.775	1.468

標準差都在 0.170~1.795 範圍內，也就是每個數據與平均值的差異在 0.340%~3.590%，表示大部分數據都非常接近，儀器測量的可信度很高。

(二)再算出分貝數的百分比值

開始做實驗，每個頻率都做三次實驗，每次實驗都做 50 秒，但是只取 35 秒的實驗值，因為在實驗的過程中，難免會受到周遭的環境干擾，產生突發性的巨大聲響，所以需要除去少數一些不合理的數據。由於總數據有 105 個，超過一百，所以小數點算到第三位。實驗結果如表二：

表二 不同頻率噪音在海水環境中音量變化表

噪音別	低頻噪音				中頻噪音			
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	200Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz	4000Hz
分貝數	52.222	51.032	48.570	49.365	36.423	41.061	42.993	41.398
標準差	1.312	1.290	1.146	0.650	2.886	4.968	5.162	5.297

噪音別	高頻噪音				
頻率	10000Hz	11000Hz	12000Hz	13000Hz	14000Hz
分貝數	43.264	48.431	41.919	41.677	41.764
標準差	2.310	2.004	2.750	2.420	1.065

標準差都在 0.650~2.420(1000Hz、2000Hz、3000Hz、4000Hz 和 12000Hz 除外)範圍內，也就是每個數據與平均值的差異在 1.300%~4.840%，表示大部分數據都非常接近，儀器測量的可信度很高。

因為每個頻率，發出的音量不一定是剛好 50 分貝，為求標準化，所以必須代入下列公式計算：

$$\text{分貝百分比}\% = \frac{(\text{不同頻率海水中分貝數} - \text{空箱分貝數})}{\text{空箱分貝數}} \times 100\%$$

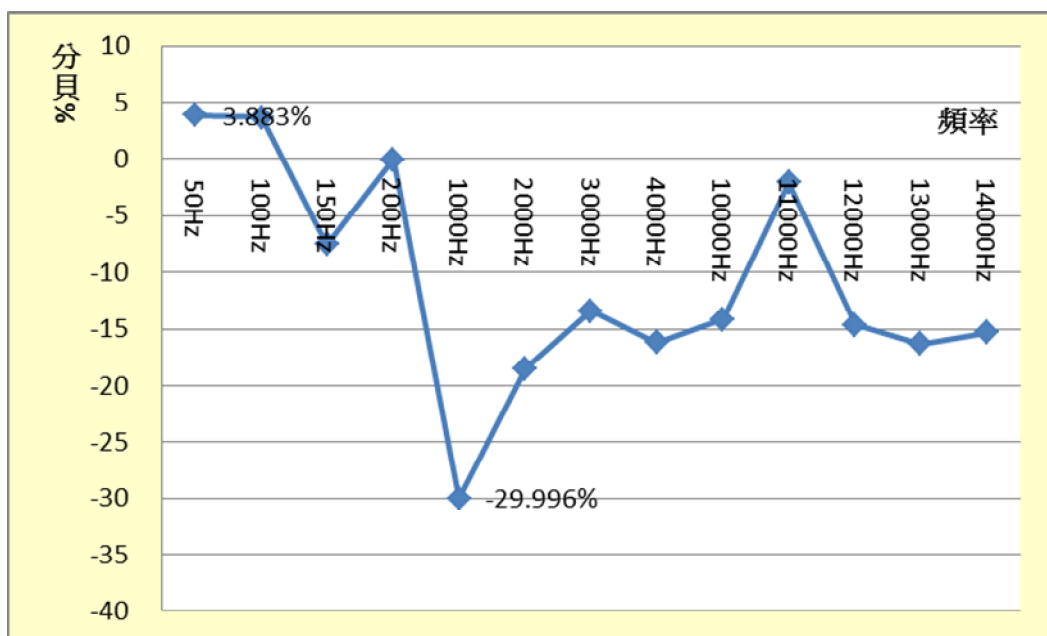
表三 不同頻率噪音通過海水音量變化表

分類	低頻噪音				中頻噪音			
頻率 Hz	50Hz	100Hz	150Hz	200Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz	4000Hz
分貝%	3.883	3.660	-7.556	-0.051	-29.996	-18.514	-13.425	-16.215

分類	高頻噪音				
頻率 Hz	10000Hz	11000Hz	12000Hz	13000Hz	14000Hz
分貝%	-14.142	-2.120	-14.677	-16.345	-15.355

(三)繪製折線圖，分析和歸納實驗結果

再將這些分貝百分比，使用 Excel 軟體繪製成折線圖，如圖六：



圖六 不同頻率噪音在海水中傳遞的音量變化

我們發現，低頻噪音在 50Hz 和 100Hz，噪音被放大，原因我們無法深入探討，在 150Hz 時被吸收程度增加，200Hz 時噪音無太大變化，總體來說，低頻噪音的音量偏高。中頻噪音

在 1000Hz 時被吸收掉最多，噪音降低-30.050%，從 2000Hz~14000Hz 的吸收程度很平均，都在 10~20%之間，唯獨噪音頻率在 11000Hz 時被吸收最少，只降低了-2.199%。我們做出的實驗結果可以跟理論上所說的，海水會讓低頻噪音通過，得到驗證。

二、隨著酸鹼值(pH)越來越酸，低頻噪音的音量也隨之升高，中頻噪音無太大影響

(一)找出海水酸化的極限酸鹼值為 pH6.8

先找一個空的水族箱，找同學用吸管吹氣，發現就算用保鮮膜將水族箱封住，pH 最多也只能降到 6.8 左右。為了選出適當的間距，所以就將每個實驗的酸鹼值設定為：8.4、8.0、7.6、7.2、6.8。

(二)不同頻率相同音量噪音，在 60 分貝音量下，找出背景值

為了比較低頻與中頻噪音在不同酸鹼值海水中的變化(60 分貝時，只能發出最高 7000Hz 中頻噪音，喇叭音量達 100%，無法發出 10000Hz~15000Hz 的單音)，先找出 60 分貝時，各頻率的音量平均。方法是測兩次裝滿海水(pH8.4、水溫 18°C)時的音量，每次測 50 秒取 35 秒，兩次的總和除以 70。測量的結果如表四：

表四 不同頻率噪音在空箱狀況(裝滿海水 pH8.4、水溫 18°C)時下的背景值表

類別	低頻噪音			中頻噪音		
	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	60.36	61.39	62.54	60.62	60.73	61.64
標準差	0.557	0.188	0.246	0.179	0.132	0.258

標準差都在 0.132~0.246 範圍內，也就是每個數據與平均值的差異在 0.220%~0.410%，表示大部分數據都非常接近，儀器測量的可信度很高。

(三)不同頻率 60 分貝噪音，在越來越酸的海水中，音量的變化

實際以低頻(50Hz、100Hz 和 150Hz)及中頻(5000Hz、6000Hz 和 7000Hz)發出 60 分貝的噪音做實驗，以酸鹼值(pH8.4)為例，50Hz 這組實驗，完成三次每次 50 秒的測試，然後各取 35 秒的數據，總共有 105 個(秒)數據，再除以 105，結果取至小數點後三位。

做出來的實驗結果如表五：

表五 不同頻率 60 分貝噪音在不同酸鹼度海水中音量變化表

酸鹼度(pH8.4)						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	55.363	58.743	58.803	52.086	52.602	53.138
標準差	0.881	1.252	0.540	0.517	0.631	0.867
酸鹼度(pH8.0)						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	60.774	56.837	57.953	58.716	51.730	56.567
標準差	4.455	3.331	3.933	1.311	2.171	3.714

酸鹼度(pH7.6)						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	55.234	59.665	61.572	53.891	53.928	55.815
標準差	1.157	1.205	1.878	1.770	1.391	1.944
酸鹼度(pH7.2)						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	61.114	62.397	57.156	52.810	57.730	57.254
標準差	4.197	2.036	2.574	2.387	0.567	1.096
酸鹼度(pH6.8)						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	86.230	60.171	63.394	58.425	54.556	56.316
標準差	0.895	0.985	3.047	3.003	0.197	0.135

除了(pH8.0, 50Hz、100Hz、150Hz、7000Hz)和(pH7.2, 50Hz)之外，標準差都在 0.135~3.047 範圍內，也就是每個數據與平均值的差異在 0.225%~5.078%，表示大部分數據都非常接近，儀器測量的可信度很高。

因為每個頻率，發出的音量不一定是剛好 60 分貝，為求標準化，所以必須代入下列公式計算：

$$\text{分貝百分比} = \frac{\text{(不同酸鹼值和頻率海水中分貝數 - 海水中分貝數)}}{\text{海水中分貝數}} \times 100\%$$

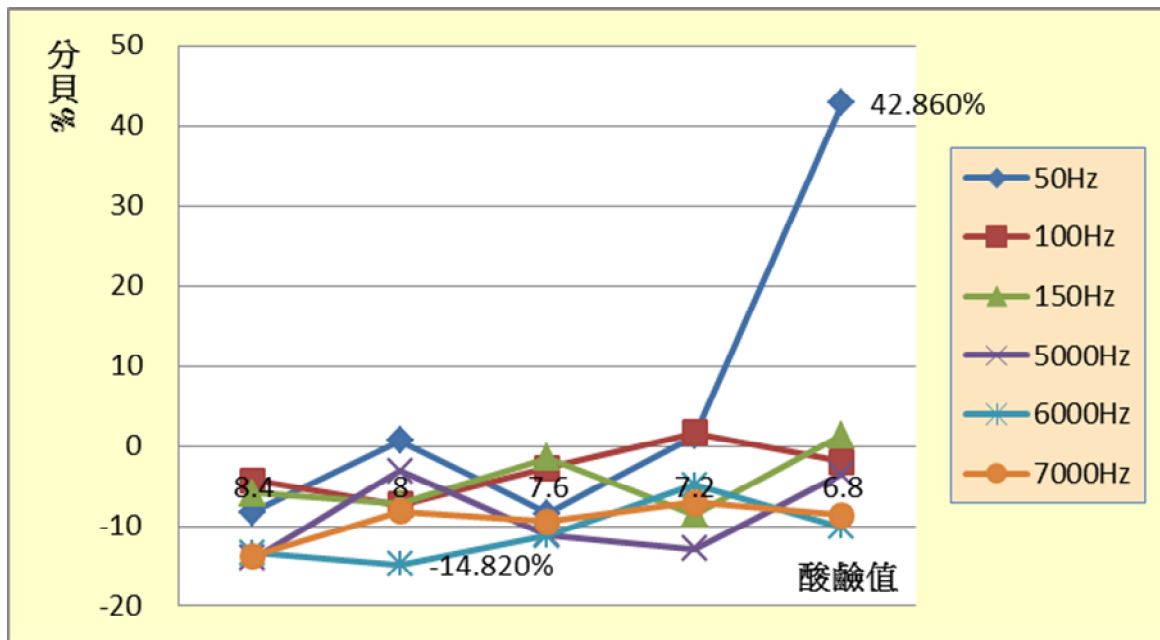
帶入公式後，計算出來的分貝百分比如表六：

表六 不同頻率 60 分貝噪音通過不同酸鹼度海水後音量變化表

酸鹼度(pH8.4)						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	-8.279	-4.312	-5.975	-14.078	-13.384	-13.793
酸鹼度(pH8.0)						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	0.679	-7.417	-7.335	-3.141	-14.820	-8.230
酸鹼度(pH7.6)						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	-8.492	-2.810	-1.548	-11.100	-11.200	-9.450
酸鹼度(pH7.2)						
類別	低頻噪音			中頻噪音		

頻率	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	1.249	1.640	-8.609	-12.884	-4.940	-7.116
酸鹼度(pH6.8)						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	5000Hz	6000Hz	7000Hz
分貝	42.860	-1.986	1.366	-3.621	-10.167	-8.637

再以 Excel 軟體繪出折線圖，50Hz 噪音是隨海水變酸，音量增加最多的。



圖七 不同頻率 60 分貝噪音在不同酸鹼度海水中音量變化折線圖

而其他頻率噪音，大致上來說，低頻噪音(50Hz、100Hz、150Hz)的音量，與中頻噪音(5000Hz、6000Hz、7000Hz)相比，可以看出低頻噪音在各個酸鹼度(pH8.4、pH8.0、pH7.6、pH7.2、pH6.8)隨之變大的狀況，都比中頻噪音產生的變化還要明顯。

但是，總體來說，低頻與中頻噪音其實在不同酸鹼值中的變化，並沒有顯著差異。所以我們認為，噪音的音量並沒有因為海洋被酸化，而產生明顯的變化。

而在 pH6.8 酸鹼值，噪音頻率 50Hz 狀況下，產生一明顯的特異值，此一分貝數突然飆高的狀況，明顯的與其他數值不同，飆高到 42.860%。

三、海水的水溫較高時，低頻噪音的音量會偏高

(一)當水族箱裡有海水時，測量 60 分貝音量噪音作為基準背景值

當水族箱內有 20°C 海水的狀態時，測量兩壁之間固定距離的音量大小，控制筆電喇叭音量大小，使其盡量保持在 60 分貝左右。開始測量低頻(50Hz、100Hz、150Hz)和中頻(1000Hz、2000Hz、3000Hz)的音量，每組做 3 次五十秒取三十五秒除以 105 秒平均，結果如表七：

表七 不同頻率 60 分貝噪音在海水中的基準背景值表

類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	60.833	59.310	61.337	60.209	60.424	62.209
標準差	2.182	0.278	0.150	0.997	1.453	0.445

標準差都在 0.150~2.182 範圍內，也就是每個數據與平均值的差異在 0.250%~3.637%，表示大部分數據都非常接近，儀器測量的可信度很高。

(二)測量不同頻率 60 分貝噪音在不同水溫下的音量變化

接下來，我們先測得海水的水溫是 20℃，所以我們開始測低頻(50Hz、100Hz、150Hz)和中頻(1000Hz、2000Hz、3000Hz)固定距離(水族箱兩端)的音量變化。以 50Hz 為例，總共做 3 次測試，每次測試 50 秒，只取 35 秒數據，共 105 秒數據加以平均。結果如表八：

表八 不同水溫下不同頻率噪音音量變化表

1.水溫：20℃						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	60.833	59.310	61.337	60.209	60.424	62.609
標準差	2.182	0.278	0.150	0.997	1.453	0.445
2.水溫：22℃						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	57.042	59.813	49.312	58.807	60.171	54.342
標準差	1.640	3.864	1.198	2.023	0.155	0.550
3.水溫：24℃						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	52.091	57.663	53.406	55.300	58.419	57.891
標準差	1.348	0.728	0.182	0.252	0.227	0.794
4.水溫：26℃						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	65.403	58.283	64.411	60.361	69.458	53.458
標準差	0.528	1.211	0.253	0.327	0.137	0.478
5.水溫：28℃						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	69.036	60.344	67.255	58.413	57.580	56.517
標準差	0.237	0.567	0.101	1.196	0.239	1.094
6.水溫：30℃						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	68.914	62.456	67.561	59.031	57.580	56.312
標準差	0.181	0.242	0.133	0.507	0.773	0.604

除了水溫 22℃、100Hz 之外，標準差都在 0.101~2.182 範圍內，也就是每個數據與平均值的差異在 0.168%~3.637%，表示大部分數據都非常接近，儀器測量的可信度很高。

(三)計算出分貝百分比，分析變化趨勢

因為每個頻率，發出的音量不一定是剛好 60 分貝，為求標準化，所以必須代入下列公式計算：

$$\text{分貝百分比}\% = \frac{(\text{實驗中分貝數} - 20^\circ\text{C 海水中分貝數})}{20^\circ\text{C 海水中分貝數}} \times 100\%$$

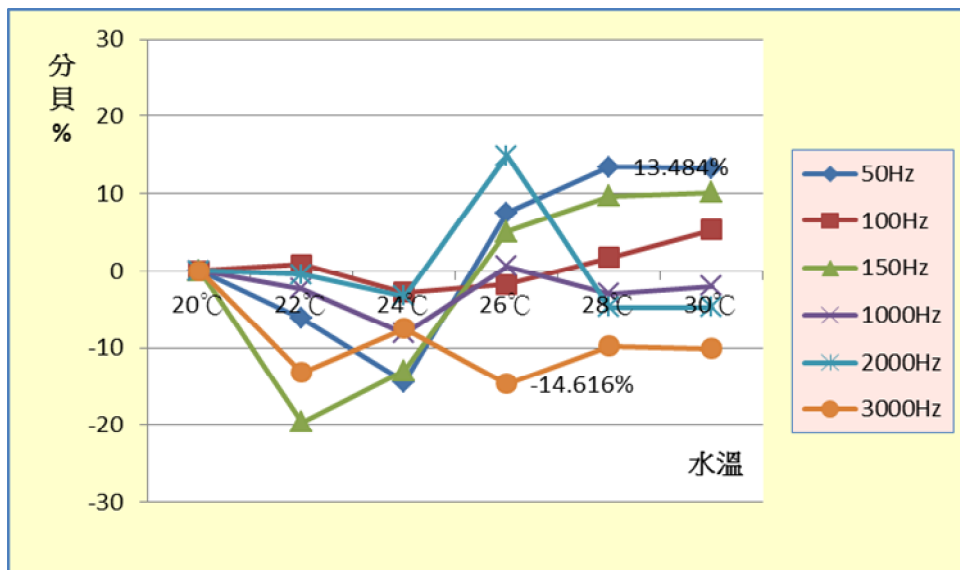
帶入公式後，計算出來的分貝百分比如表九：

表九 不同水溫下不同頻率噪音分貝百分比表

水溫 \ 頻率	20°C	22°C	24°C	26°C	28°C	30°C
50Hz	0.000	-6.232	-14.370	7.512	13.484	13.284
100Hz	0.000	0.848	-2.777	-1.732	1.743	5.304
150Hz	0.000	-19.605	-12.930	5.012	9.648	10.147
1000Hz	0.000	-2.329	-8.153	0.600	-2.983	-1.957
2000Hz	0.000	-0.419	-3.318	14.951	-4.707	-4.707
3000Hz	0.000	-13.204	-7.536	-14.616	-9.730	-10.058

因為是以 20°C 水溫下，不同頻率噪音分貝平均值作為基準，因此才會在 20°C 時所有頻率噪音的分貝百分比都是零。其他不同水溫不同頻率噪音的分貝值，都是先減去 20°C 時各頻率的平均值，因此我們可以較清楚的看見，噪音音量隨著水溫的上升，比較明顯的變化情形。

將數據以電腦軟體 Excel 加以繪圖，如圖九：



圖八 不同水溫下不同頻率噪音分貝百分比折線圖

大多數低頻噪音在水溫 30°C 時，噪音音量最大，會隨著水溫的上升，音量因而上升。50Hz 和 100Hz 等低頻噪音，分別在 24°C 和 22°C 時，音量降低，隨著水溫升高而又升高。但是中頻噪音則比較不明顯，變化的趨勢也比較和緩些。1000Hz 和 2000Hz 的中頻噪音，在水溫 26°C 時，音量大增，達到最大值。但是隨著水溫的升高，音量卻反而降低。1000Hz 噪音在 28°C 時達到最低音量，2000Hz 噪音在 30°C 時達到最低音量。3000Hz 噪音分別在 26°C、28°C 和 30°C 時，成為該水溫最低音量。

四、大氣泡袋阻隔中低頻率噪音的效果最好，小氣泡袋阻隔 100Hz 低頻噪音效果最好

(一)以海水條件下，各頻率 60 分貝噪音音量為基準背景值

配置好人工海水(18°C、pH8.4)後，決定以低頻(50Hz、100Hz、150Hz)噪音和中頻(1000Hz、2000Hz、3000Hz)噪音 60 分貝來進行基準背景值的測試。以 50Hz 為例，測量一次五十秒只取三十五秒，計算出平均值到小數點第三位，如表十：

表十 不同頻率 60 分貝噪音在海水中音量基準背景值表

類別	低頻噪音			高頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	59.805	63.240	60.505	60.82	61.708	58.826
標準差	2.513	1.173	1.825	5.514	0.137	2.482

標準差都在 0.137~2.513 範圍內(1000Hz 除外) <3，也就是每個數據與平均值的差異在 0.228%~4.19%，表示大部分數據都非常接近，儀器測量的可信度很高。

(二)測試不同材料隔板阻擋不同頻率海水的音量改變情形

我們分別使用：泡棉網、小氣泡袋、大氣泡袋、樂高積木底板和智高積木底板作為阻隔材料，每種材料分別做低頻和中頻共六組頻率測試，以泡棉網 50Hz 為例，總共做三次測試，每次測試 50 秒鐘，為去除不必要的噪音干擾，所以只取 35 秒，共計 105 秒數據計算出平均值如表十一：

表十一 不同材料隔板阻隔不同頻率噪音音量變化表

1.泡棉網						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	59.099	63.706	63.35	63.878	62.462	60.670
標準差	1.306	3.251	2.444	2.589	0.927	2.691
2.小氣泡袋						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	58.356	62.674	61.853	60.226	56.218	53.939
標準差	2.053	3.790	1.259	0.528	2.080	0.303
3.大氣泡袋						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	55.558	66.602	58.351	52.007	51.077	49.74
標準差	1.173	1.045	1.400	0.611	0.114	0.179
4.樂高積木底板						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz
分貝數	58.721	68.535	62.475	64.343	62.336	54.132
標準差	0.460	2.839	1.384	0.353	1.387	0.703
5.智高積木底板						
類別	低頻噪音			中頻噪音		
頻率	50Hz	100Hz	150Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz

分貝數	59.283	66.138	65.712	61.384	55.036	51.376
標準差	0.560	0.684	1.384	0.667	4.223	0.662

除了三組數據(泡棉網, 100Hz)(小氣泡袋, 100Hz)(智高, 2000Hz)之外, 標準差都在 0.114~2.839 範圍內, 也就是每個數據與平均值的差異在 0.190%~4.732%, 表示大部分數據都非常接近, 儀器測量的可信度很高。

(三)換算成分貝百分比, 分析結果

因為每個頻率, 發出的音量不一定是剛好 60 分貝, 為求標準化, 所以必須代入下列公式計算:

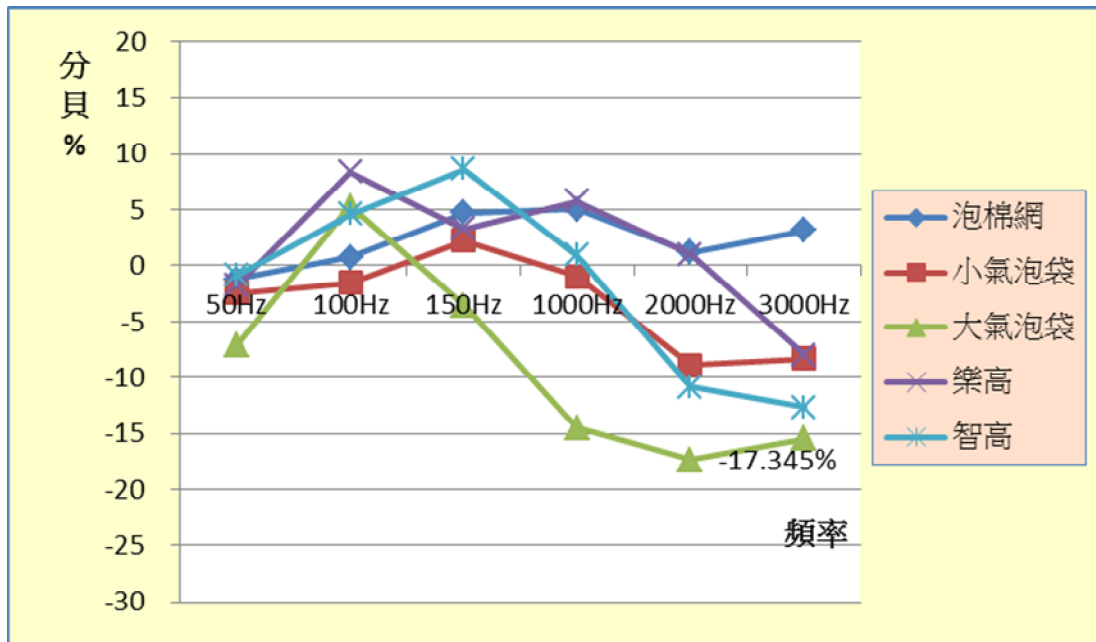
$$\text{分貝百分比} = \frac{\text{(不同阻隔材料海水中分貝數 - 無阻隔海水中分貝數)}}{\text{無阻隔海水中分貝數}} \times 100\%$$

帶入公式後, 計算出來的分貝百分比如表十二:

表十二 不同材料阻隔不同頻率 60 分貝噪音分貝百分比表

材料 \ 頻率	泡棉網	小氣泡袋	大氣泡袋	樂高	智高
50Hz	-1.331	-2.423	-7.102	-1.813	-0.873
100Hz	0.737	-1.528	5.316	8.373	4.583
150Hz	4.702	2.228	-3.569	3.256	8.606
1000Hz	5.028	-0.977	-14.49	5.793	0.927
2000Hz	1.222	-8.897	-17.228	1.018	-10.812
3000Hz	3.135	-8.308	-15.445	-7.979	-12.664

然後以電腦軟體 Excel 繪圖, 得到圖八:



圖八 不同材料阻擋不同頻率 60 分貝噪音音量變化折線圖

從圖八來分析, 在 50Hz 時, 所有材料隔板阻擋效果都差不多, 從 100Hz 開始有較明顯的差別, 在 1000Hz~3000Hz 時最為明顯。

大氣泡袋阻隔 50Hz、150Hz(低頻)、1000Hz、2000Hz、3000Hz(中頻)噪音的效果最好，小氣泡袋阻擋 100Hz(低頻)噪音的效果最好。

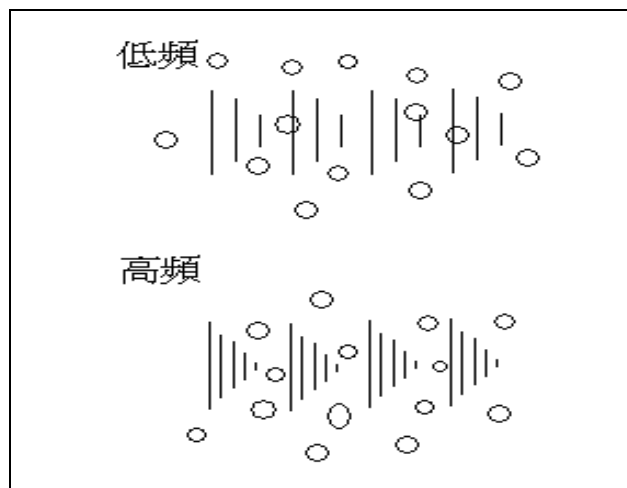
智高積木底板在 50Hz、150Hz(低頻)阻擋噪音效果最差，樂高綠色底板在 100Hz(低頻)和 1000Hz(中頻)噪音時，阻隔效果最差。泡棉網在 2000Hz 和 3000Hz (中頻) 噪音時，阻隔效果最差。

陸、討論

一、海水比較不會吸收低頻噪音，而讓低頻噪音通過

我們的實驗結果，符合海水的性質的描述。低頻噪音平均分貝數是 50.297，中頻噪音的平均分貝數是 40.469，而高頻噪音的平均分貝數是 43.405。

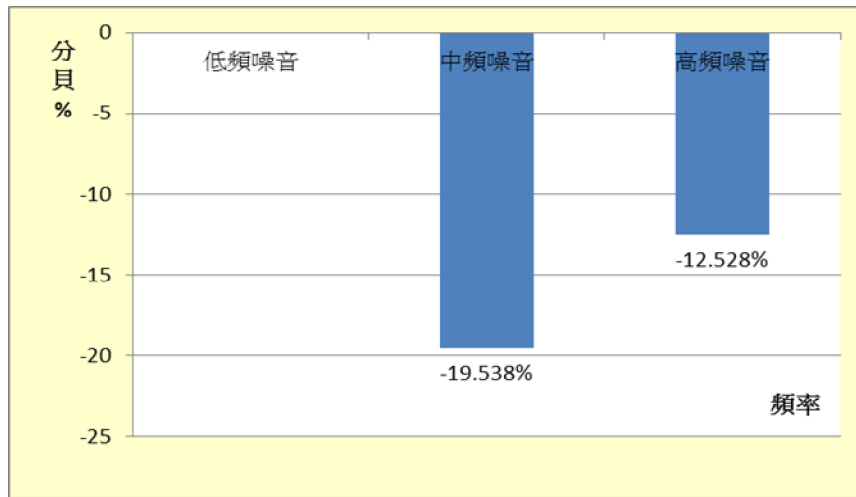
噪音會被吸收，是因為海水中的重要成分：硼酸和硫酸鎂的分解和合成等化學反應，會影響及吸收高頻噪音。所以中頻和高頻噪音會被海水吸收，而無法順利通過，音量因而降低。



圖十 低頻和高頻噪音傳播圖

海洋噪音的減弱與三項因素有關：黏性作用、熱傳導和分子能量交換[1]。海水本身就是具有黏性的一種液體，會因為海水流動而產生摩擦，摩擦產生熱能，而將生能轉換成熱能消耗掉，噪音因而變小。低頻噪音在相同時間(1 秒)內的振動次數比較少，與海水的摩擦比較少，所以我們認為低頻噪音是能量消耗較少，音量比較大。而高頻噪音因為振動次數多，能量消耗比較多，容易被水的流動而吸收削弱。

我們將低頻噪音(50Hz、100Hz、150Hz、200Hz)、中頻噪音(1000Hz、2000Hz、3000Hz、4000Hz)和高頻噪音(10000Hz、11000Hz、12000Hz、13000Hz、14000Hz)，三組內個頻率噪音平均數再加以平均，結果發現：低頻組(-0.0158%)、中頻組(-19.538%)和高頻組(-12.528%)。低頻組噪音被海水吸收的程度明顯的低於中高頻兩組的噪音。



圖十一 低中高頻噪音音量百分比平均圖

我們的實驗結果中，1000Hz 時，音量達到最低值 36.423Hz(-29.996%，標準差 2.886)，而在 11000Hz 時，音量達到最高值 43.405(-2.120%，標準差 2.004)，兩者的原因可能是我們無法探討的因素所造成的，其正確性，還需要更多次的實驗，或是更多的理論，來加以驗證。

二、低頻噪音有隨著酸鹼值的降低而隨之增高的趨勢

科學家發現，當二氧化碳氣體不斷增加，會因為溫室效應，而使得地球的氣溫上升，而二氧化碳溶入海水，又會讓海水酸鹼值降低，使海水變酸。海水酸化的結果，會使得原本存在海水中的硼酸和硫酸鎂的分解和合成受到干擾，因而使得海洋噪音的聲速變快，能夠傳到更深更遠的海中，干擾到鯨魚和海豚的生活。

而我們的結果卻發現，並不是所有頻率的噪音都會受到海水變酸的影響。只有低頻的噪音隨酸鹼值降低(變酸)，而音量越來越大聲。

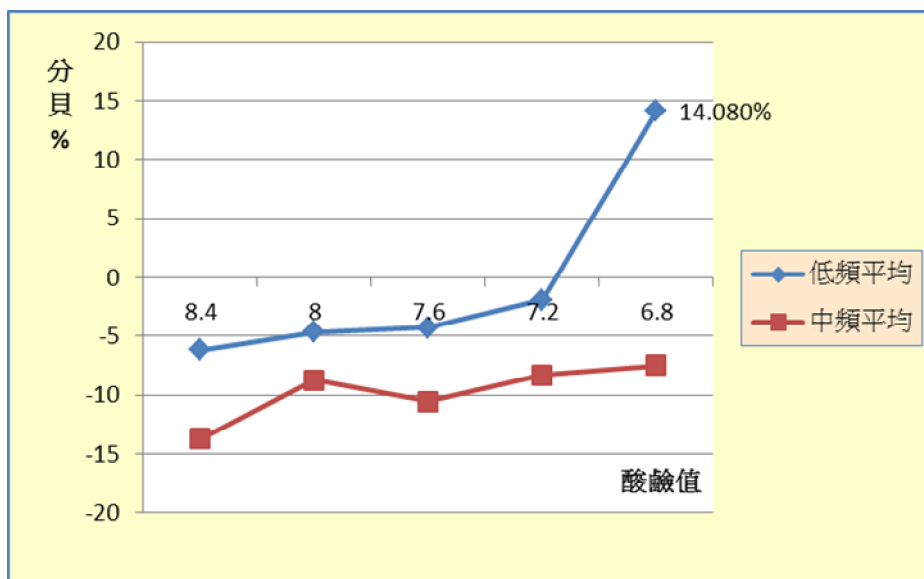
表十三 低頻噪音在不同酸鹼值海水中傳遞分貝%平均表

酸鹼值 \ 頻率	8.4	8.0	7.6	7.2	6.8
50Hz	-8.279	0.679	-8.492	1.249	42.860
100Hz	-4.312	-7.417	-2.810	1.640	-1.986
150Hz	-5.975	-7.335	-1.548	-8.609	1.366
平均分貝%	-6.189	-4.691	-4.283	-1.906	14.080

表十四 中頻噪音在不同酸鹼值海水中傳遞分貝%平均表

酸鹼值 \ 頻率	8.4	8.0	7.6	7.2	6.8
5000Hz	-14.078	-3.141	-11.100	-12.884	-3.621
6000Hz	-13.384	-14.820	-11.200	-4.940	-10.167
7000Hz	-13.793	-8.230	-9.450	-7.116	-8.637
平均分貝%	-13.752	-8.730	-10.584	-8.313	-7.475

可以從圖十二中看出來，低頻噪音的音量在酸鹼值 6.8 時，突然增大很多。如果將異常值扣除不算，仍然可以看出低頻噪音有隨著酸鹼值變酸而變大聲的趨勢，但是中頻噪音就比較沒有規律性。



圖十二 中低頻噪音在不同酸鹼值海水中音量平均圖

從以上的討論和分析中，我們發現，雖然在實驗結果中，海水變酸時，低中頻噪音並沒有顯著的差異性。但是從低中頻兩組的平均趨勢上，還是可以發現，低頻噪音隨海水變酸，而產生音量變大的現象，而中頻噪音就比較不明顯。而異常值的出現，也許再次的深入探討中，我們可以繼續做出 pH6.4(海水變得更酸)時，噪音音量上的改變，應該會有更多的發現。

三、低頻噪音的音量會隨著水溫的升高而變大

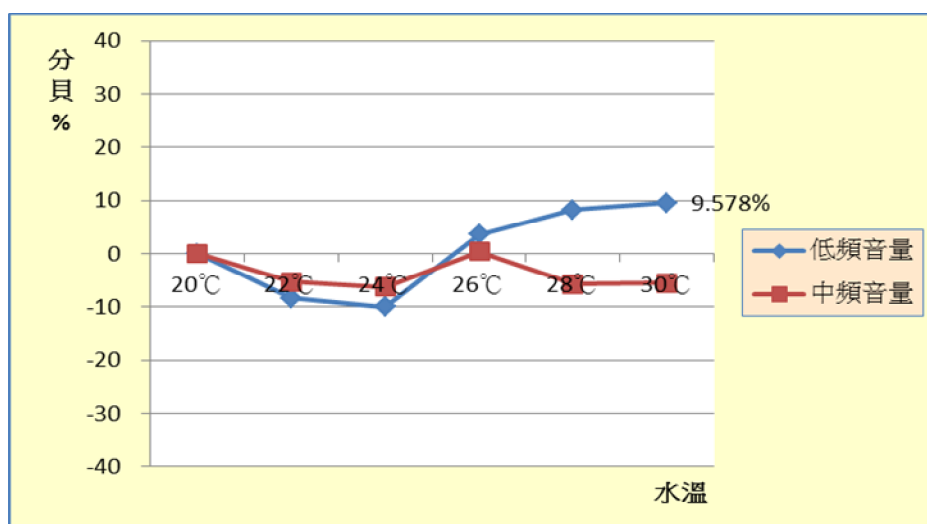
我們從實驗結果中（圖十三）發現，低頻噪音呈現 S 型曲線，隨水溫升高而變大聲。我們發現，中頻噪音與水溫上升之間並沒有很明顯的規律性。

表十五 低頻噪音在不同水溫中分貝%變化表

水溫	20°C	22°C	24°C	26°C	28°C	30°C
50Hz	0.000	-6.232	-14.370	7.512	13.484	13.284
100Hz	0.000	0.848	-2.777	-1.732	1.743	5.304
150Hz	0.000	-19.605	-12.930	5.012	9.648	10.147
平均	0.000	-8.330	-10.026	3.597	8.292	9.578

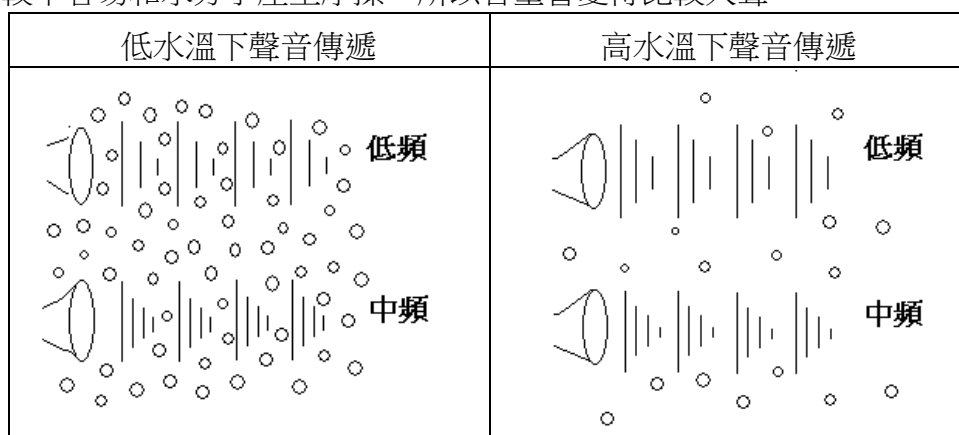
表十六 中頻噪音在不同水溫中分貝%變化表

水溫	20°C	22°C	24°C	26°C	28°C	30°C
1000Hz	0.000	-2.329	-8.153	0.600	-2.983	-1.957
2000Hz	0.000	-0.419	-3.318	14.951	-4.707	-4.707
3000Hz	0.000	-13.204	-7.536	-14.616	-9.730	-10.058
平均	0.000	-5.317	-6.336	0.311	-5.807	-5.574



圖十三 中低頻噪音隨水溫上升的變化圖

在水溫低時，因為水分子密度大，分布比較密集，中低頻噪音的能量都比較與水分子產生摩擦而消耗能量，音量較小，而當水溫上升時，由於海水的密度變小，低頻噪音因為波長比較長，比較不容易和水分子產生摩擦，所以音量會變得比較大聲。



圖十四 中低頻噪音在不同水溫中傳遞示意圖

綜合以上的討論，我們發現，全球暖化造成海水溫度逐年上升時，低頻噪音才會隨著海水變酸而音量變大，中頻噪音沒有明顯的影響。

四、大氣泡袋和小氣泡袋對於噪音的阻隔效果最好

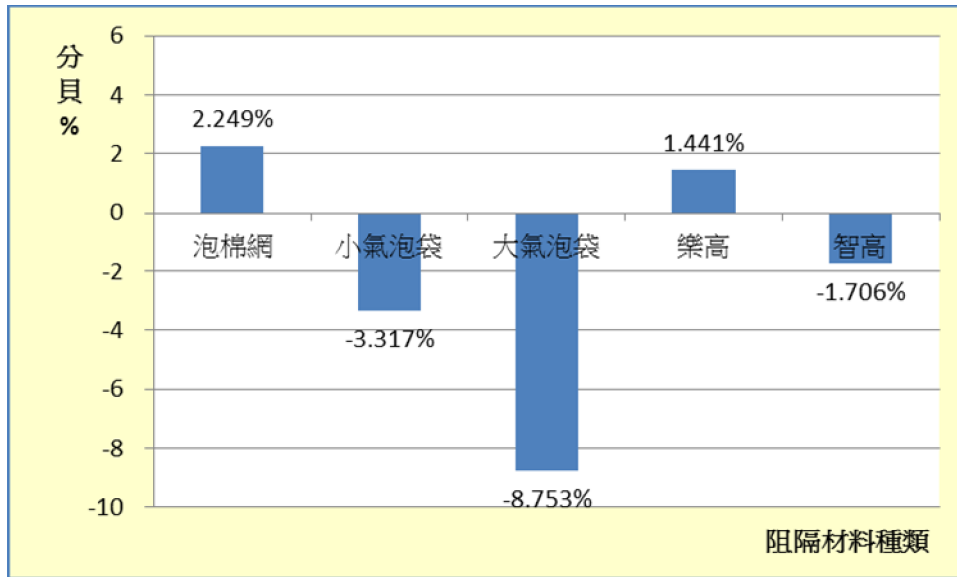
我們將五種阻隔材料的材質及特色條列如表十七：

表十七 不同材質隔板外部特徵表

類別 \ 外部特徵	凹凸不平程度	厚度	圓圈/半徑	有/沒有空氣	材質
泡棉網	—	*	—	—	泡棉
小氣泡袋	*****	*****	* / 3 mm	有	塑膠袋
大氣泡袋	***	*****	* / 5 mm	有	塑膠袋
樂高底板	*	**	* / 2 mm	—	硬塑膠
智高底板	*	**	* / 3.5 mm	—	硬塑膠

表十八 各材質平均分貝數

材質	泡棉網	小氣泡袋	大氣泡袋	樂高	智高
分貝數	62.179	58.878	55.544	61.757	59.822
分貝%	2.249	-3.317	-8.753	1.441	-1.706



圖十五 不同材質平均音量長條圖

我們從表十八和圖十五中，可以知道，大氣泡袋阻隔中低頻噪音的效果最好(-8.753%)，第二名是小氣泡袋(-3.317%)。我們推測可能的原因有以下幾點：

(一)空氣

由於小氣泡袋和大氣泡袋的每一個氣泡內部都有空氣，聲音的傳播速度在不同介質中會有所不同：

$$\boxed{\text{聲速}} \quad \text{固體} > \text{液體} > \text{氣體}$$

當噪音從海水進入氣泡內的空氣時，受到一些速度的差異，因而損失能量，使音量變小。

(二)凹凸不平的程度

當我們在學「磨擦力」時，曾經學過：物體表面凹凸不平程度越大，產生的摩擦力也越大。對於聲音的削弱，凹凸不平的程度會不會也有同樣的效果嗎？經過表十七分析，大小氣泡袋都有明顯的凹凸不平程度，可以有效阻擋噪音。



圖十六 實際觀察紀錄不同材質隔板的外部特徵

(三)圓形結構

樂高積木底板和智高積木底板雖然阻擋噪音的效果較差，但是仍然比泡棉網的效果要好，主要原因是圓形結構，能有效破壞噪音，削減噪音的音量，而泡棉網因為孔洞大，結構不緻密堅固，又沒有圓形結構，所以破壞噪音能力差，無法有效阻隔噪音!

為了環境永續利用，科學家目前正在研發，未來將利用從海底向海面產生小水泡簾幕，來有效阻隔沿岸人為海洋噪音，與我們的實驗結果，具有氣泡結構的氣泡袋也能有效阻隔中低頻噪音的結果，不謀而合！

柒、結論

我們的實驗結果有以下四點結論：

一、**低頻噪音能夠通過海水，而中高頻噪音卻會被大量減弱。**海水本身具有過濾中高頻噪音的能力。因此許多工程噪音、船舶噪音及魚雷等人為噪音，都能被海水過濾，只有低頻噪音能被傳遞出去。

二、**低頻噪音會隨著海水變酸而音量大增。**當海洋逐漸被酸化時，低頻噪音也會變得更大聲，加上低頻噪音又容易穿透，結果讓海中噪音變大變多。

三、**大氣泡袋能有效阻擋中低頻噪音。**大氣泡袋能有效阻擋 50Hz~3000Hz 範圍等(除 100Hz 外)常見的人工噪音。因此科學家未來計劃製造出氣泡結構的水幕[2]，能夠有效阻擋噪音傳入更深廣的海洋，不但維持了鯨魚等海中生物的生存條件，也達到環保的目標！

四、**低頻噪音會隨著水溫升高而提高音量。**當全球暖化海洋水溫升高的同時，低頻噪音也會跟著提高音量。除了極端氣候的具體成形造成的巨大氣候災害，海水溫度上升也使得海中的寧靜被徹底破壞。

五、**總結：海水的酸鹼值越酸和水溫的上升，使得海中的低頻噪音越來越大聲，嚴重影響海中鯨魚和海豚的溝通、覓食、交配與禦敵行為，甚至讓這些海中生物在過份吵雜的環境中無法生存下去而大量滅絕。**這些海水性質的改變，都是二氧化碳濃度增加造成的結果。以氣泡來阻隔噪音的實際成效還是未知數，只有徹底落實節能減碳，才能有效減緩海中生物受到噪音影響的程度。

捌、參考資料及其他

- 1.劉金源（2001）**水中聲學-水聲系統之基本操作原理**。台北市：國立編譯館。
- 2.黃健強（2011年8月15日）德國研發「水下氣泡隔音」保護鯨魚聽力。**環境資訊中心**。
2011年8月15日，取自：<http://e-info.org.tw/node/69327>
- 3.行政院環境保護署（2013年12月17日）**低頻噪音**。[公告]台北市：行政院環境保護署。2013年12月17日，取自：<http://ncs.epa.gov.tw/BB/B-07a.htm>
- 4.鯨歌（2014年3月12日）**維基百科**。2014年3月12日，取自：<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%B2%B8%E6%AD%8C>

【評語】 080509

優點：

1. 能以熱門話題的海洋酸化及全球暖化問題，做為研究主題，是很有創意的研究方向。
2. 能針對主題進行實驗設計，除了解海洋噪音的傳播情形，也提出減弱阻擋噪音的方法，達到科學研究的價值與目的在於解決問題的精神。

建議：

1. 前後實驗的變因控制宜審慎選擇。如：音量前後實驗條件不同；海水 pH 值的範圍。另有關影響聲傳播的因素，要查明後才能做出更好的實驗設計。
2. 實驗設計應參考實際海洋狀況（酸鹼度、水溫、鹽度變化等）才有意義，對於實驗結果也應考慮實驗環境中所造成的干擾。