

屏東縣第 66 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科別：物理科

組別：國中組

作品名稱：超聲波空穴效應探討



關鍵詞：超聲波、空穴效應、駐波

編號：B2016

摘要

我們採用**燙金鋁箔**作為樣品，置入超聲波清洗機中，觀察鋁箔被清除的狀況，並以 Gemini 輔助計算被清除的面積，作為 Cavitation 作用強度的量化方式。

在本次的探究中，我們發現，普通聲波(非超聲波)的液體振動，無法清除鋁箔。

震盪時間越長，Cavitation 的破壞程度越高。

溫度越高，Cavitation 的破壞程度越高。

液體量越多，Cavitation 的破壞程度越低。

對於我們所採用的樣品，頻率越高，Cavitation 的破壞程度越高。

在我們測試的濃度範圍，清潔劑加入的多寡，Cavitation 的破壞程度沒有明確的差距。

使用不同類型的溶液，不論是鹽水(電解質溶液)或糖水(非電解質溶液)，Cavitation 的破壞程度均較一般自來水低。

功率越高，Cavitation 的破壞程度應該是要更高，但這邊沒有呈現出這樣的特性，原因有待探討。

壹、研究動機

國二上學期理化課程中，課文中有提到超聲波的應用之一，就是可以振動水以清洗物品，我們對此很感興趣，在購物網站上一搜尋，小型的超聲波清洗機從不到 200 元，到接近一萬元的都有，令人頗為困惑。請教老師後，決定買幾台便宜的機種，以及借用學校實驗室的超聲波清洗機來進行研究。

貳、文獻探討

一、Cavitation(空穴效應)：

又稱空蝕現象、氣穴現象或空洞效應。是指在流動的液體中，因壓力快速變化導致局部壓力低於該液體的飽和蒸汽壓，進而產生微小氣泡（空穴），隨後氣泡進入高壓區崩裂並產生巨大衝擊力的物理現象。(參考資料 1)

二、產生原因：

在流動的液體中，壓力（水的話大氣壓的 1/50 程度）在非常短的時間內比飽和蒸氣壓力低的時候，液體中會滾沸並存在 100 微米以下非常小的氣泡核。有氣泡核，氣泡才能產生。

根據壓力的變化而滾沸，氣體的體積也隨著變化，氣泡的大小也會改變。膨脹與收縮的反覆，應對於壓力而變小。在變小的過程中，在螺旋槳等堅硬的表面上，氣泡的黏性和表面張力的作用下，氣泡以噴氣飛機般的高速，與表面衝突，之後氣泡分裂。這個噴氣流在堅硬的表面上產生腐蝕。這個過程為氣泡運動力學的瑞利(Rayleigh)運動方程式。

最終周圍的壓力比飽和蒸氣壓力高、周圍的液體向著氣泡的中心衝去，氣泡消失瞬間，因為在中心衝突，發生細小而強力的壓力波，引起噪音、振動。(參考資料 2)

三、超聲波清洗機清潔原理：

超聲波清洗機原理是利用高頻率震盪信號（通常>20KHz），通過換能器轉換(Transducer)成機械振動，並傳導至清洗液中。此振動使液體產生「空化效應」(Cavitation)，即數以萬計的微小氣泡在負壓區形成並在正壓區瞬間爆裂，產生強大衝擊波與微射流，將物體表面污垢剝離，達到徹底清潔縫隙的果。(參考資料 3)

四、影響 Cavitation 因素：

受頻率、功率密度（通常 10-40 W/L）、溫度（常為 40-50℃）影響。(參考資料 4)

參、研究目的

- 一、不同價位超聲波清洗機清潔效果簡單比較。
- 二、探討不同時間下，Cavitation 的破壞程度。
- 三、探討不同溫度下，Cavitation 的破壞程度。
- 四、探討不同液體量下，Cavitation 的破壞程度。
- 五、探討不同頻率下，Cavitation 的破壞程度。
- 六、探討加入不同清潔劑量下，Cavitation 的破壞程度。
- 七、探討不同溶液類型下，Cavitation 的破壞程度。
- 八、探討不同功率下，Cavitation 的破壞程度。

肆、研究設備及器材



A

功率大小：150W
超聲波頻率：43KHz
價位：超過 10000 元
有加熱功能



B

功率大小：60W、70W、80W、90W、100W
超聲波頻率：20KHz、40KHz
價位：約 9000 元
有加熱功能



C

功率大小：60W
超聲波頻率：60KHz
價位：約 1800 元



D

功率大小：15W
超聲波頻率：48KHz
價位：約 900 元



E
功率大小：不明
無超聲波
價位：約 300 元



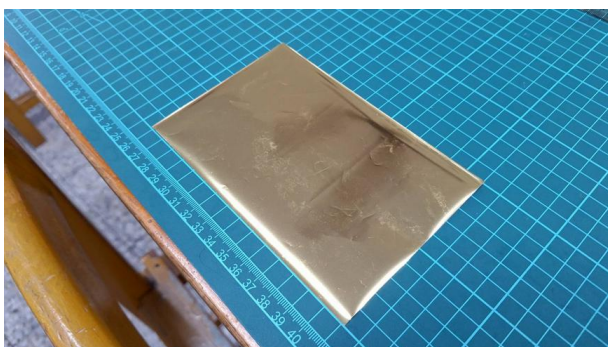
F
功率大小：不明
無超聲波
價位：約 200 元



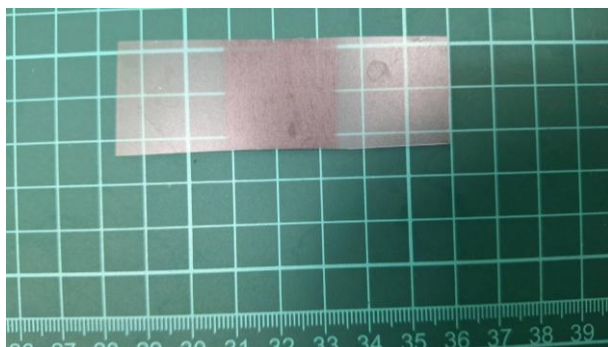
紅外線溫度計



電子秤



紅包袋熱轉印燙金鋁箔



PP 塑膠片

伍、研究流程

- 一、選擇適合的測試樣品，找出 Cavitation 破壞程度量化測量的方法。
- 二、使用相同水量，比較不同價位超聲波清洗機對樣品的清除率。
- 三、採用三種不同時間，測量 Cavitation 的破壞程度。
- 四、採用四種不同溫度，測量 Cavitation 的破壞程度。
- 五、採用三種不同液體量，測量 Cavitation 的破壞程度。
- 六、採用二種不同頻率，測量 Cavitation 的破壞程度。
- 七、採用四種不同清潔劑量，測量 Cavitation 的破壞程度。
- 八、採用三種不同溶液類型，測量 Cavitation 的破壞程度。
- 九、採用三種不同功率下，測量 Cavitation 的破壞程度。

陸、研究過程及結果

一、選擇適合的測試樣品，找出 Cavitation 破壞程度量化測量的方法。

【方法 1】

一般測試超聲波清洗機清洗效率是採用鋁箔置入清洗機，看鋁箔被打出破洞的百分比。

【結果】

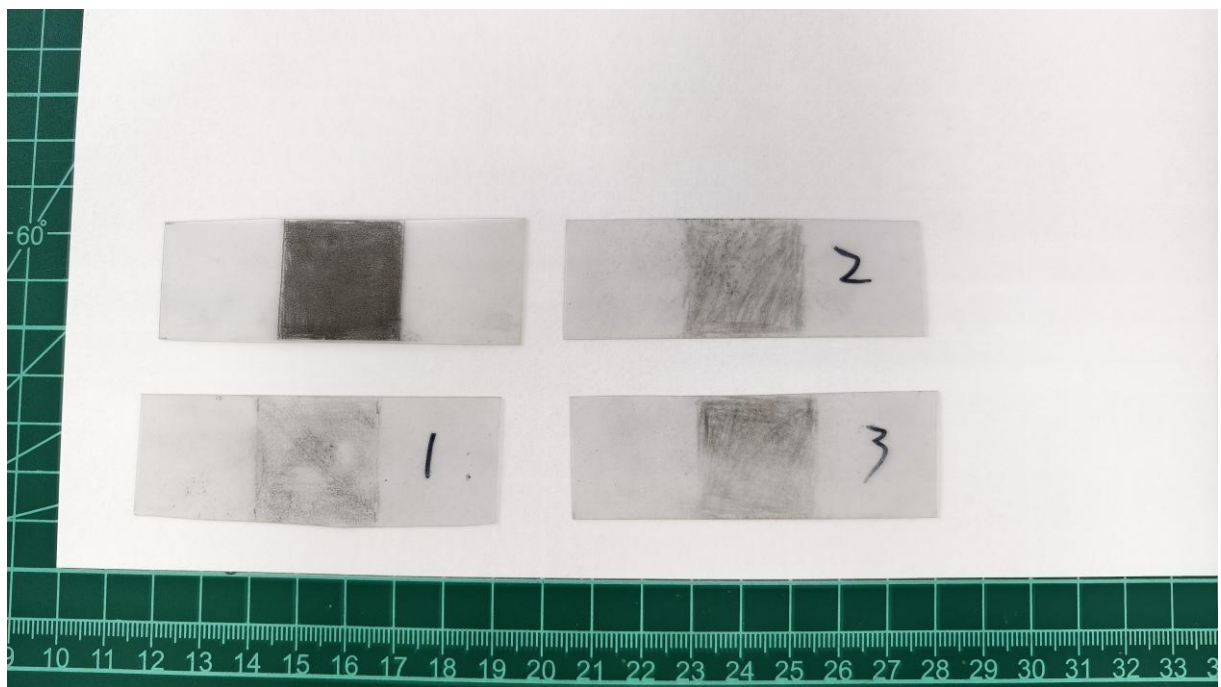
即使使用我們借得到的 150W 的設備 A 清洗機，跑了 20 分鐘，鋁箔依然完好無損。

【方法 2】

或者塗佈石墨的毛玻璃(約載玻片大小)。由於學校沒有毛玻璃，於是我們使用和載玻片大小一樣的 PP 塑膠片取代，在中間位置用 2B 鉛筆塗滿 2.5X2.5 公分區塊。

【結果】

不論哪一台設備，即使最便宜的非超聲波清洗機均能清除掉部分石墨，但困難之處是很難每一張石墨都塗佈的相同。



【方法 3】

在卡關之際，我們的隊友突然想到，生活科技課時，老師有教我們做紅包袋燙金文字或圖案，使用的是熱轉印燙金鋁箔，或許可以拿來試看看。我們將燙金鋁箔裁成 2.5X2.5 公分大小來當樣品。

【結果】

效果出乎意料外的好的，清洗機可以成功的打掉塑膠膜上面附著的鋁箔，且保留了完整的塑膠膜。真是太好了，於是決定採用此方法來探討 Cavitation 效果。而且我們網路上搜尋了一些文件，都沒有人提到用這樣的樣品。



【清除率的計算】

鋁箔被打掉越多，代表 Cavitation 效果越強，所以計算空白區域的面積百分比，可以用來簡單表示 Cavitation 強度。老師原先要教我們使用一般實驗常用的影像軟體 ImageJ 來計算。但靈機一動，問看看 AI 是否能幫我們計算。使用 google 的 Gemini，還真的幫我們寫出程式，線上即時計算。

【結果】



請幫我計算淺色部分面積百分比

◆ 顯示思路 ▼

我將為您建立一個影像處理工具，利用 OpenCV 演算法來分析這張圖檔中淺色區域（白色/淺灰色）

問問 Gemini 3

+ 工具

思考型 ▼

◆ 顯示思路 ▼

我將為您建立一個影像處理工具，利用 OpenCV 演算法來分析這張圖檔中淺色區域（白色/淺灰色）與深色區域（金屬黃色/褐色）的面積佔比。

我們將使用「色彩閾值分割」技術：首先將影像轉為灰階，接著設定一個閾值來區分淺色與深色像素，最後計算淺色像素佔總像素的百分比。

 影像面積百分比分析工具
2月6日 下午3:14

開啟

分析與建議：

根據您上傳的這張金屬紋路圖（image_65d25f.png），視覺觀察結果如下：

1. **分佈特徵：**影像呈現不規則的網狀分佈，淺色（底色）與深色（金屬紋路）的對比相當明顯。
2. **預估百分比：**在標準閾值設定下，淺色區域大約佔總面積的 **45% - 55%** 之間。
3. **如何使用此工具：**
 - 我已經為您撰寫了一個 **React 影像分析工具**，您可以直接將您的圖片上傳到該工具中。
 - 工具會即時生成一個「二值化圖形」（黑白圖），白色代表系統偵測到的淺色，黑色代表深色。
 - **微調：**您可以拉動滑桿。如果圖片中有些金屬光澤太亮被誤判為白色，請將閾值稍微往右調（增加數值），直到黑白對比圖與肉眼觀察的紋路一致。

這個工具利用像素級別的掃描，會比肉眼估算更加精確。

影像面積百分比分析工具

程式碼 預覽 共用

影像淺色面積百分比計算器

選擇檔案 31317.jpg

請上傳您要分析的圖片（如：您上傳的金色/白色磁磚圖）

原始影像

分析遮罩 (白色為淺色區域)

調整敏感度 (閾值) : 165

淺色面積 (白色部分)
65.61%

深色面積 (金屬部分)
34.39%

分析說明：

- 系統會自動掃描每一個像素的高度。
- 淺色區域：通常是指影像中反射較強的白色或淺灰部分。
- 深色區域：在您的樣本中為金屬黃色與複色的紋路。
- 您可以透過滑桿微調閾值，若淺色部分被抓得太多，請向右調高數值。

二、使用相同水量，比較不同價位超聲波清洗機對樣品的清除率。

- 【方法】1.分別使用 A~F 六台清洗機，均清洗 5 分鐘，觀察樣品的變化。
2.每個設備均做 3 次。。

【結果】

肉眼可明顯判別 A~D 這 4 台確實有超聲波振動的，均能清除部分燙金鋁箔，功率越大的清洗機清除率越高。而 E 及 F 使用的是一般的振動馬達，無法清除燙金鋁箔。

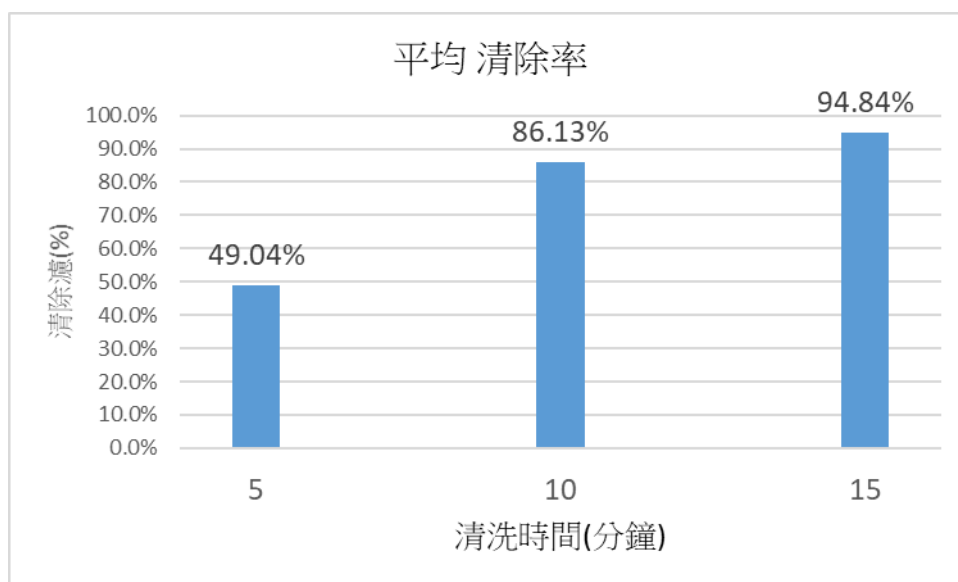
三、探討不同時間下，Cavitation 的破壞程度。

- 【方法】1.使用 150W 的 A 清洗機，觀察樣品的變化。
2.每個操縱變因均做 3 次取平均值。

變因控制：功率大小 150W、清潔劑的量：0、超聲波頻率：43KHz、使用液體；自來水
液體量：2000ml、液體溫度：20℃

【結果】清洗時間越長，Cavitation 的破壞程度越高。

清洗時間 (分)	1	2	3	平均 清除率
5	 清除率約 42.36%	 清除率約 42.10%	 清除率約 42.31%	49.04%
10	 清除率約 82.83%	 清除率約 84.12%	 清除率約 78.5%	86.13%
15	 清除率約 99.24%	 清除率約 97.58%	 清除率約 92.83%	94.84%



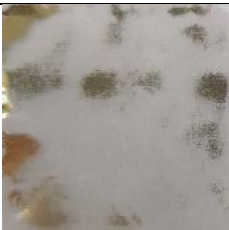
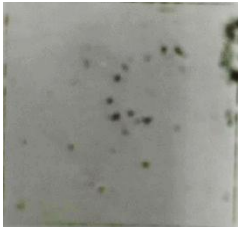
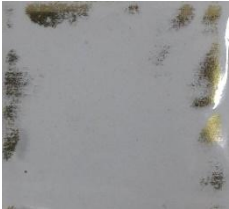
四、探討不同溫度下，Cavitation 的破壞程度。

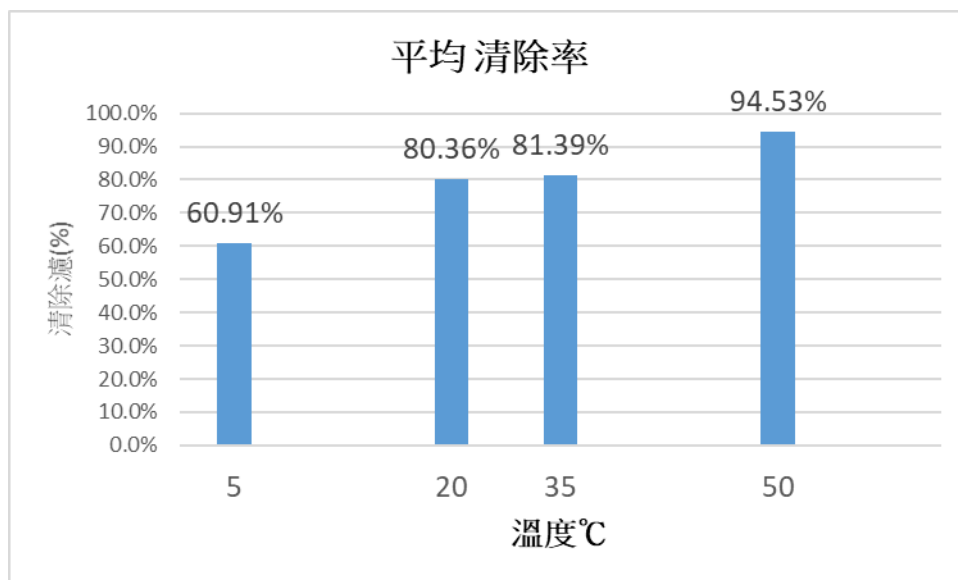
【方法】1.使用 150W 的 A 清洗機，觀察樣品的變化。

2.每個操縱變因均做 3 次取平均值。

變因控制：功率大小 150W、清潔劑的量：0、超聲波頻率：43KHz、使用液體；自來水
液體量：2000ml、清洗時間：10 分鐘

【結果】溫度越高，Cavitation 的破壞程度越高。

溫度(°C)	1	2	3	平均 清除率
5	 清除率約 68.58%	 清除率約 61.84%	 清除率約 52.32%	60.91%
20	 清除率約 82.83%	 清除率約 84.12%	 清除率約 74.12%	80.36%
35	 清除率約 78.4%	 清除率約 82.5%	 清除率約 83.27%	81.39%
50	 清除率約 95.88%	 清除率約 92.2%	 清除率約 95.5%	94.53%



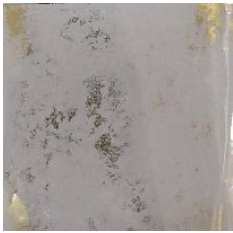
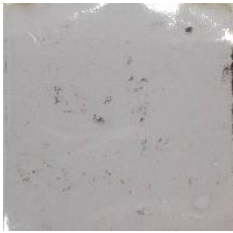
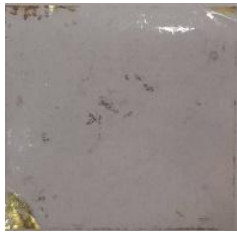
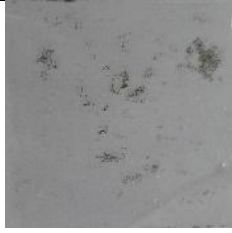
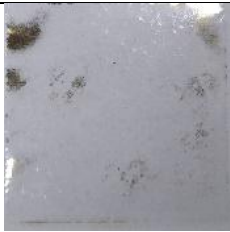
五、探討不同液體量下，Cavitation 的破壞程度。

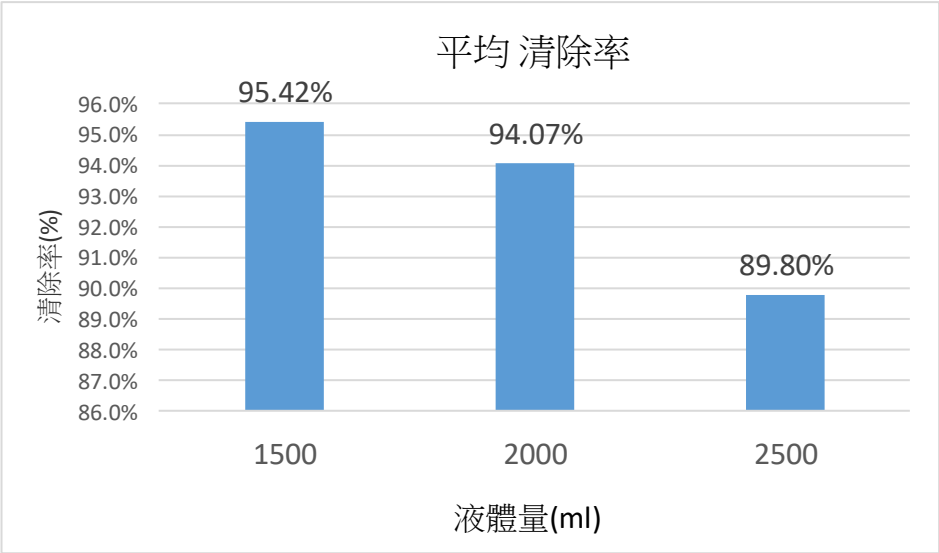
【方法】1.使用 150W 的 A 清洗機，觀察樣品的變化。

2.每個操縱變因均做 3 次取平均值。

變因控制：功率大小 150W、清潔劑的量：0、超聲波頻率：43KHz、使用液體：自來水、
清洗時間：10 分鐘、液體溫度：20℃

【結果】液體量越多，Cavitation 的破壞程度越低。

液體量(ml)	1	2	3	平均 清除率
1500	 清除率約 93.15%	 清除率約 98.59%	 清除率約 94.53%	95.42%
2000	 清除率約 99.04%	 清除率約 88.31%	 清除率約 94.86%	94.07%
2500	 清除率約 94.2%	 清除率約 90.2%	 清除率約 85%	89.80%



六、探討不同頻率下，Cavitation 的破壞程度。

【方法】1.使用 100W 的 B 清洗機，觀察樣品的變化。

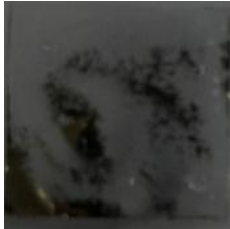
由於一般的清洗機通常只有一個頻率，能有兩個頻率的平價機種很少，超過兩個頻率的清洗機都很貴，國中學校也不會買這樣的設備，於是目前只能做兩個頻率比較。

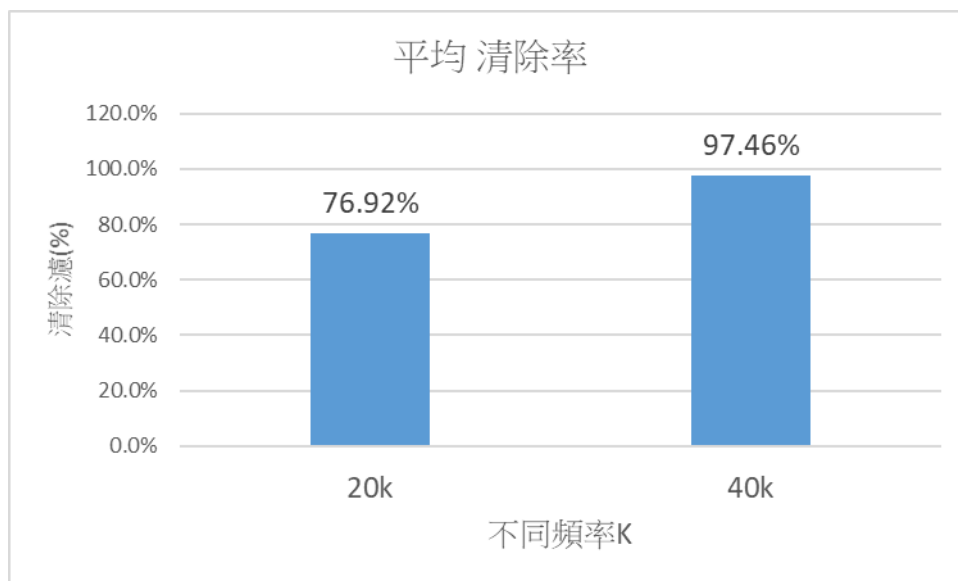
2.每個操縱變因均做 3 次取平均值。

變因控制：功率大小 100W、清潔劑的量：0、使用液體；自來水

液體量：2000ml、清洗時間：10 分鐘、液體溫度：20°C

【結果】對於我們所採用的樣品，頻率越高，Cavitation 的破壞程度越高。

不同頻率 (Hz)	1	2	3	平均 清除率
20k	 清除率約 78.87%	 清除率約 90.54%	 清除率約 61.35%	76.92%
40k	 清除率約 97.8%	 清除率約 97.57%	 清除率約 97.02%	97.46%



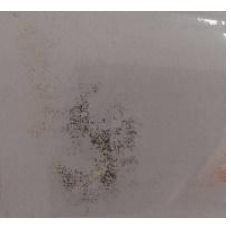
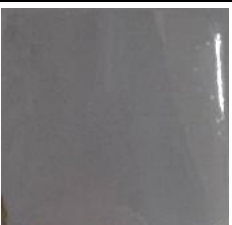
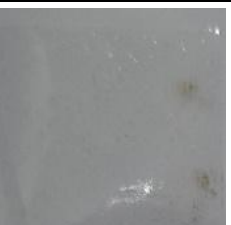
七、探討加入不同清潔劑量下，Cavitation 的破壞程度。

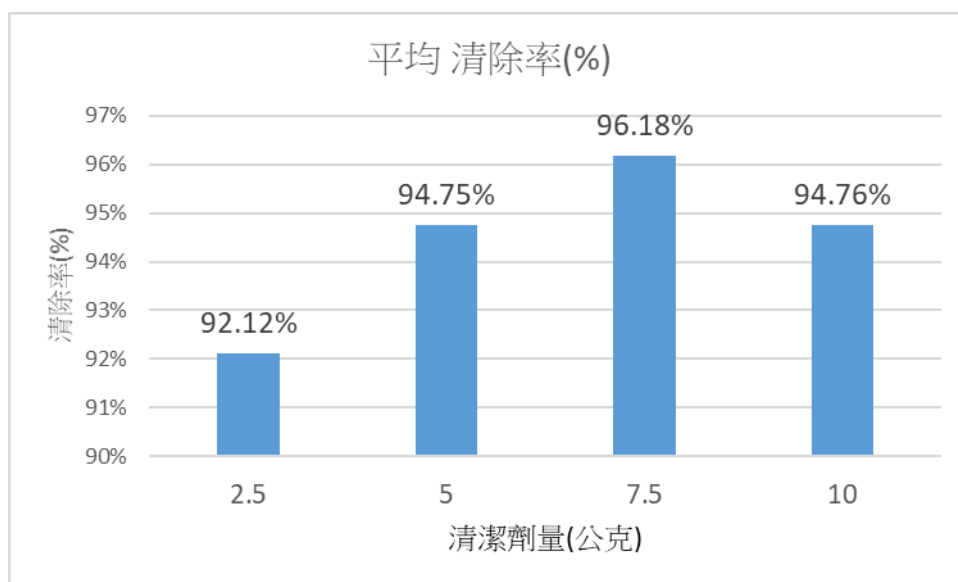
【方法】1.使用 150W 的 A 清洗機，觀察樣品的變化。

2.每個操縱變因均做 3 次取平均值。

變因控制：功率大小 150W、超聲波頻率：43KHz、使用液體；自來水、清洗時間：10 分鐘、液體溫度：20℃

【結果】清潔劑加入的多寡，Cavitation 的破壞程度沒有明確的差距。

清潔劑量 (公克)	1	2	3	平均 清除率
2.5 (濃度約 0.125%)	 清除率約 88.57%	 清除率約 98.42%	 清除率約 89.37%	92.12%
5.0 (濃度約 0.25%)	 清除率約 94.16%	 清除率約 96.5%	 清除率約 93.6%	94.75%
7.5 (濃度約 0.375%)	 清除率約 93.6%	 清除率約 97.7%	 清除率約 97.24%	96.18%
10.0 (濃度約 0.5%)	 清除率約 94.91%	 清除率約 92.79%	 清除率約 96.58%	94.76%



八、探討不同溶液類型下，Cavitation 的破壞程度。

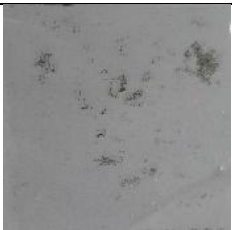
【方法】1.使用 150W 的 A 清洗機，觀察樣品的變化。

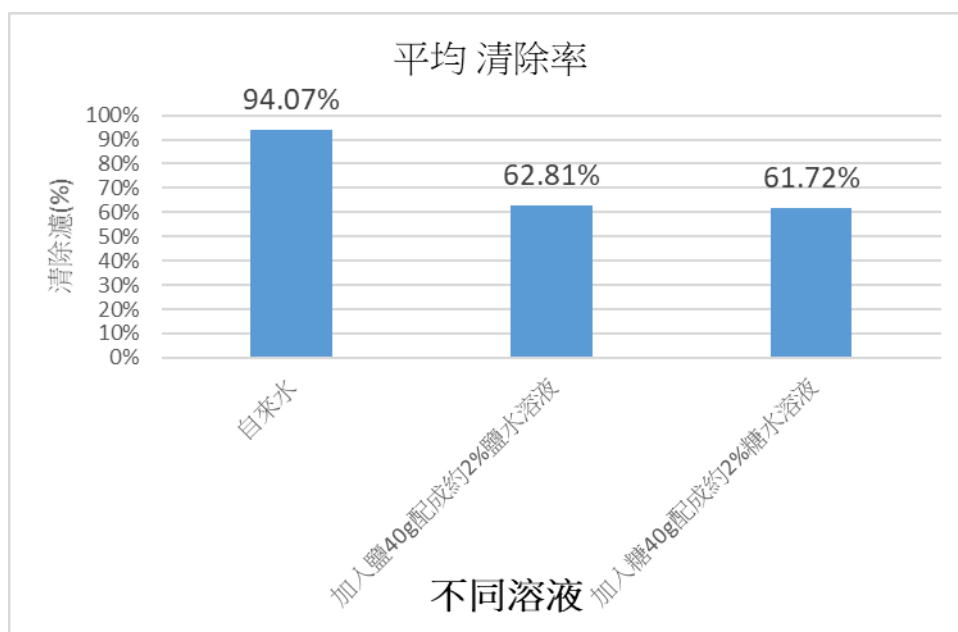
2.每個操縱變因均做 3 次取平均值。

變因控制：功率大小 150W、清潔劑的量：0、超聲波頻率：43KHz、

液體量：2000ml、液體溫度：20℃、清洗時間：10 分鐘

【結果】使用不同類型的溶液，不論是鹽水(電解質溶液)或糖水(非電解質溶液)，Cavitation 的破壞程度均較一般自來水低。

不同溶液	1	2	3	平均 清除率
自來水	 清除率約 99.04%	 清除率約 88.31%	 清除率約 94.86%	94.07%
加入鹽 40g 配成約 2% 鹽水溶液	 清除率約 55.67%	 清除率約 64.57%	 清除率約 68.2%	62.81%
加入糖 40g 配成約 2% 糖水溶液	 清除率約 63.48%	 清除率約 57.4%	 清除率約 64.28%	61.72%



九、探討不同功率下，Cavitation 的破壞程度。

【方法】1.使用 100W 的 B 清洗機，觀察樣品的變化。

一般的清洗機通常不能調整功率，而實驗室中的清洗機 B 剛好能調整功率。

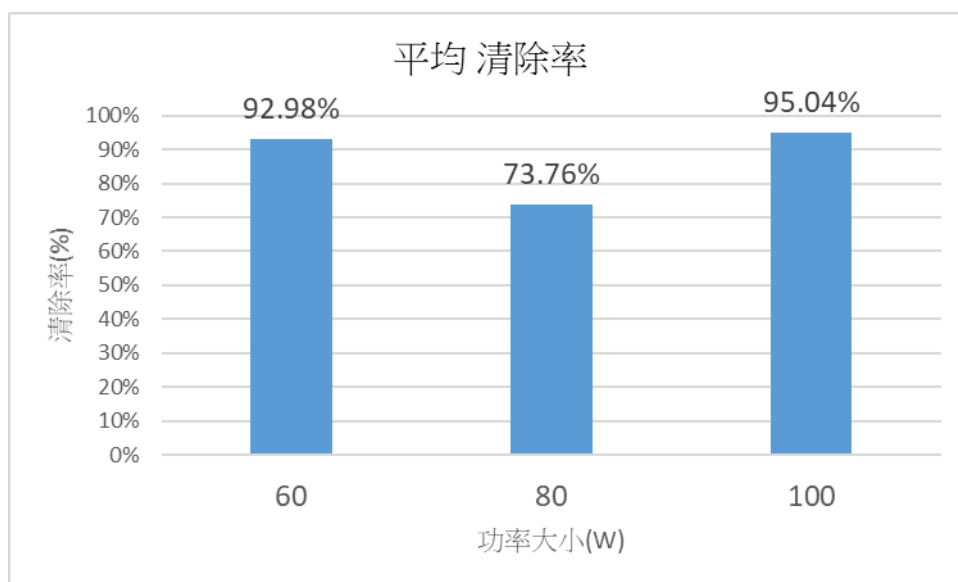
2.每個操縱變因均做 3 次取平均值。

變因控制：清潔劑的量：0、超聲波頻率：40KHz、使用液體：自來水

液體量：2000ml、液體溫度：20℃、清洗時間：10 分鐘

【結果】功率越高，Cavitation 的破壞程度應該是要更高，但這邊沒有呈現出這樣的特性，原因有待探討。

功率大小 (W)	1	2	3	平均 清除率
60	 清除率約 84.56%	 清除率約 95.96%	 清除率約 98.42%	92.98%
80	 清除率約 63.48%	 清除率約 81.36%	 清除率約 76.45%	73.76%
100	 清除率約 91.24%	 清除率約 94.37%	 清除率約 99.52%	95.04%



柒、結論

一、選擇適合的測試樣品，找出 Cavitation 破壞程度量化測量的方法。

針對功率不是很大的超聲波清洗機(200W 以下)，要測量 Cavitation 的破壞程度，我們所使用的燙金鋁箔可能是最適合的樣品。

二、使用相同水量，比較不同價位超聲波清洗機對樣品的清除率。

有超聲波振動模組的清洗機，均能清除部分燙金鋁箔，功率越大的清洗機清除率越高。而使用一般振動馬達的清洗機，可以明顯聽到振動頻率，則無法清除燙金鋁箔。

三、探討不同時間下，Cavitation 的破壞程度。

震盪時間越長，Cavitation 的破壞程度越高。

四、探討不同溫度下，Cavitation 的破壞程度。

溫度越高，Cavitation 的破壞程度越高。

五、探討不同液體量下，Cavitation 的破壞程度。

液體量越多，Cavitation 的破壞程度越低。因為分配給液體的功率密度(瓦/公升)越低。

六、探討不同頻率下，Cavitation 的破壞程度。

對於我們所採用的樣品，頻率越高，Cavitation 的破壞程度越高。所查到的資料，說法都是頻率越高，波長越短，越能深入縫隙，清洗到更多的區域。由於我們的樣本是一片平面式，應該不是這樣的問題，我們認為是因為更高的頻率，能產生更多更微小的氣泡核。老師的手持式超聲波清洗機是 60KHz，雖然商品宣稱是 60W，但實測結果功率頗弱，與另一台的 60W(設備 B，可調功率)比較，明顯水面波紋較少，所以無法加入 60KHz 的比較。

七、探討加入不同清潔劑量下，Cavitation 的破壞程度。

在我們測試的濃度範圍，清潔劑加入的多寡，Cavitation 的破壞程度沒有明確的差距。一般在使用超聲波清洗機時，都會加入一些清潔劑，由於清潔劑主要是界面活性劑，藉由超聲波幫助，可以乳化油污，提升清潔效果。但我們的樣品並無油污，所以我們認為這種結果是合理的。不過，加入清潔劑，液體的黏滯係數會改變，這對 Cavitation 的破壞程度有何影響，我們考慮後續使用更高量的清潔劑來驗證。

八、探討不同溶液類型下，Cavitation 的破壞程度。

使用不同類型的溶液，不論是鹽水(電解質溶液)或糖水(非電解質溶液)，Cavitation 的破壞程度均較一般自來水低。但加入清潔劑卻影響不大，關於這部分，我們想不出合理的解釋。

九、探討不同功率下，Cavitation 的破壞程度。

功率越高，Cavitation 的破壞程度應該是要更高，但這邊沒有呈現出這樣的特性，原因有待探討。

捌、問題與討論

一、燙金鋁箔樣品所使用的尺寸，為何要用 2.5cmX2.5cm？

【討論】一開始是為了配合原先的 PP 塑膠片塗佈石磨的尺寸，但後來發現如果裁成較大的尺寸，例如 4cmX4cm，燙金鋁箔會捲曲，但是否會影響清除率，這部分有待再進行實驗測試。

二、燙金鋁箔在液體中是否靜止不動？

【討論】答案是否定的，燙金鋁箔會隨著液體振動而飄移，甚至翻面。但當移動到某些位置時會停止移動，我們認為是駐波的節點。清洗機在運作時，水面上會有明顯的駐波，但液體中看不到。

不過，當我們使用 20KHz 的超聲波時，會不斷從下方產生微小氣泡，這是在其他頻率看不到的。

而這些小氣泡理應上浮至液體表面破裂消失，但我們觀察到有些氣泡會懸停在液體中不移動，這應該就是駐波的節點。

三、使用 40KHz 與 20KHz 超聲波時，40KHz 的水面振動幅度較大，波紋較密集。

【討論】高頻的波長較短，所以駐波的波紋會較密集，但振動幅度較大這件事，我們無法找到適當的解釋。

四、為何一次只放入一張樣品，不一次放入多張樣品？

【討論】我們一開始沒想到這點，但考慮到樣品會飄移，如果放入多張樣品，有可能會重疊在一起，導致有些樣品清除率會不佳，因為燙金鋁箔是塑膠膜單面塗佈鋁箔，如果正好塗佈面疊在一起，會無法清除。

五、不同液體為何使用糖水及鹽水？

【討論】因為鹽水為電解質溶液，而糖水為非電解質溶液。受限於時間，目前只做了這兩種，應該要加入更多類型比較探討。

而不論是鹽水(電解質溶液)或糖水(非電解質溶液)，Cavitation 的破壞程度均較一般自來水低。這點我們想不出適當的解釋，也許要等加入更多不同溶液的結果來做比較時，才能釐清原因。

六、清洗槽內不同位置清除率是否有差異？(駐波位置探討)

【討論】目前我們想到的做法是使用長尾夾固定樣品，一次多張樣品放入液體中不同位置，觀察清除率的差異，此點有待後續進行。

七、自製振動模組的可能性？

【討論】原先一開始我們想使用 arduino 電路板自製可以變化多種頻率的振動模組，但訊號放大的部份仍未解決，此點可以列為之後的研究目標。

玖、參考資料

一、淺談空蝕現象

<https://www.calpeda.com.tw/>

二、空蝕現象 - 維基百科，自由的百科全書

三、超音波原理-鋒鑫科技

四、超音波清洗機原理-原拓科技

五、「蝕」破天驚~超聲波場中空蝕效應之破壞情形

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/63/pdf/NPHSF2023-051804.pdf?0.8471393475774676>

六、以雙頻驅動單一超音波探頭強化空穴效應之可行性研究

<https://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/g32/gswweb.cgi/login?o=dnclcdr&s=id=%22095CGU00442061%22.&searchmode=basic>