

中華民國第 60 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

牛奶河之謎—以自製 Arduino 測量裝置檢測硫酸鈣膠體乳光效應與環境因子關係並對照大氣水文數據之分析與探討

學校名稱：高雄市立前金國民中學

作者： 國一 呂紀成 國一 陳家禹 國一 謝愷修	指導老師： 殷宏良 陳羿安
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：牛奶河、Arduino、乳光效應

摘要

2018/03/21 新聞報導高雄市三民區明誠橋的愛河變成了牛奶河，引發官方「自然現象」與民眾「工業污染」的爭論。本研究分析相關報導內容及文獻資料，針對硫酸鈣溶液的溶解度(沉積)、鹽水、膠體溶液、乳光效應與溫度之關係，運用 Arduino 電路板及電子元件設計實驗裝置，編寫軟體程式計算訊號資料，另實地踏查變色河段，採集河水進行檢測，彙整變色河段工業污染情形，比對實驗結果與大氣水文數據。

研究結果顯示牛奶河屬感潮河段，成因與河水中的硫酸鈣、海水(鹽度)及膠體溶液有明顯關係，而突然降水帶來污染物(懸浮物)增加，以及環境溫度突然變化(20°C 至 30°C 硫酸鈣溶液乳光效應變化最為明顯)是主要影響成因，此外；研究分析發現河水變色與潮汐變化無明顯關係。

壹、研究動機

上學期有上過學校的校本課程「戀戀愛河」，課堂中老師曾經提到愛河的河水常有變色的問題，而我從小就住在愛河附近，因此對愛河有一定的熟悉感，卻對它真實的情況不太了解。於是我上網查詢了一些關於近期愛河變色的新聞報導，大多內容都提到：「人為的工廠污染或藻類繁殖的自然現象…等。」其中，我對於愛河呈現乳白的牛奶色這則新聞特別感興趣。

根據報導內容提到：「環保局表示是自然硫酸鈣沉積導致乳光效應，不是污染。」然而；我卻很好奇：「硫酸鈣從何而來？為什麼會有大量的硫酸鈣會沉積在此處？是什麼情形導致硫酸鈣沉積？硫酸鈣沉積導致乳光效應真的會使愛河變成牛奶顏色？又或是其他的因素造成呢？」讀完這幾篇新聞的說法，讓我更疑惑；也更想知道愛河變成牛奶河的原因為何？

因此；我找幾位也感興趣的社團同學一起請教自然老師相關的問題，查閱了「水資源與水污染」單元內容，並搜尋了相關書籍與網路資料，設計實驗檢測相關變因，同時結合「愛河」水質監測資料與氣象水文紀錄資料，進行數據的分析與整理；再透過實地踏查事件案發的河段區域環境及附近的工商活動情形，研究探討愛河變成牛奶河的影響因素，以提供明確可靠的牛奶河成因。

貳、研究目的

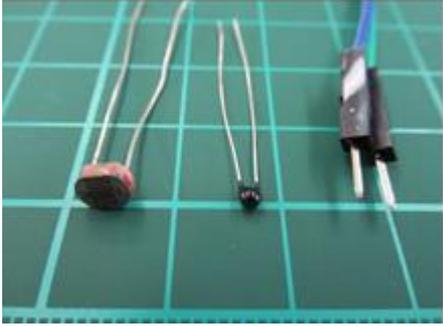
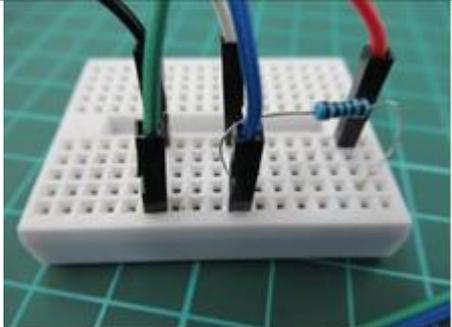
- 一、探討愛河變色河段的水源、流域、人類活動與污染情形，並分析新聞報導之相關變因。
- 二、結合 Arduino 與 LabVIEW 程式，設計實驗裝置檢測硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與相關變因之探討。
- 三、依據報導資料及實驗結果與官方氣象數據分析對照比較，探討硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與環境因子之關係。

四、依據報導資料及實驗結果與官方潮汐數據分析對照比較，探討變色河段之牛奶河成因與海水(鹽度)及漲退潮之關係。

五、實地踏查變色河段區域，綜合報導及文獻資料、實驗結果與大氣水文數據比對，進行分析與歸納，探討牛奶河之成因。

參、研究設備及器材

一、研究器材

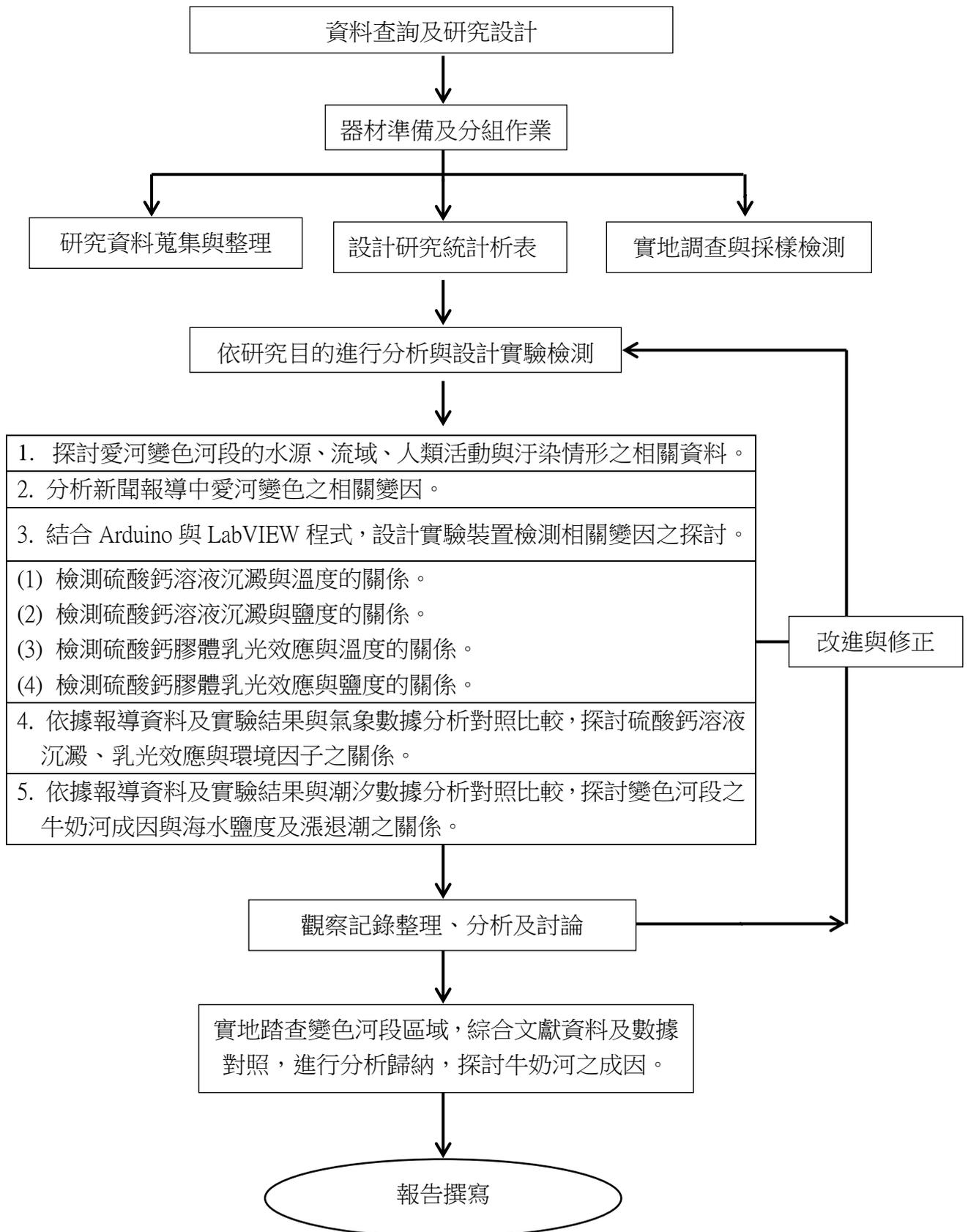
<p>筆記型電腦</p> 	<p>Arduino 電路板</p> 
<p>光敏電阻、熱敏電阻與導電度量測電極</p> 	<p>杜邦線(公線與母線)</p> 
<p>石英加熱棒</p> 	<p>麵包板與 1000 Ω 電阻</p> 

二、實驗藥品

<p>無水硫酸鈣 CaSO₄</p> 	<p>(寒天) 洋菜粉</p> 	<p>食鹽 NaCl</p> 	<p>碳酸鎂 MgCO₃</p> 	<p>氯化鉛 PbCl₂</p> 	<p>氫氧化鈣 Ca(OH)₂</p> 
---	---	--	---	---	--

肆、研究過程或方法

一、研究架構流程



二、文獻探討

(一) 愛河的水源、人口、工業與污染

1. 愛河的水源

愛河最早稱為打狗川(如圖 4-2-1)，而後日人更改為一高雄川，民國 81 年始命名為愛河。愛河的形成非常的晚，明清之際才有明顯的溪溝出現，成為一條自然河川，其水源如下：

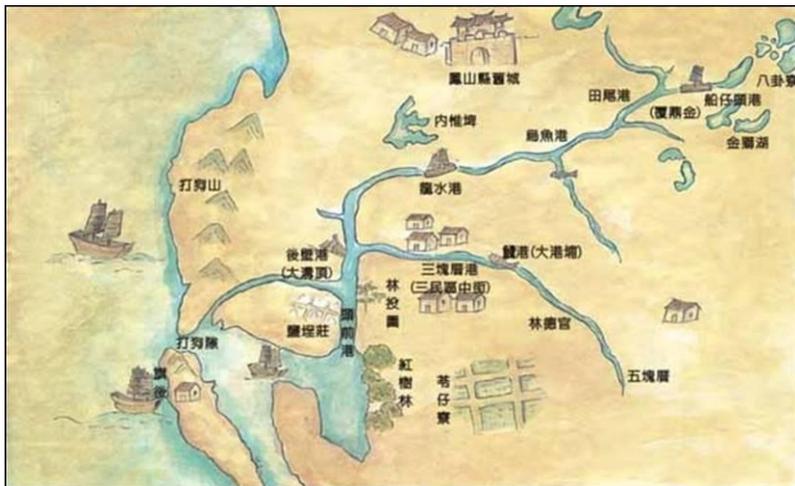
(1) 上游：灌溉水、雨水，以及工廠排放的事業廢水及家庭污水。

(2) 下游：海水，為海潮，由於是潮川型的河流，會感受潮汐的漲落，漲潮時由海岸向西南流動，港口的海水流入愛河，退潮時愛河河水向西北方流出一港口。

2. 愛河的流域人口、工業與污染狀況

愛河源於高雄縣仁武鄉的八卦寮埤潭，由東蜿蜒西流經左營、三民、鼓山、鹽埕、前金、苓雅等區而注入高雄港第一港口，沿岸居住人口約 72 萬人。

高雄市的產業發展重心為：基本金屬製造業、化學材料製造業、石油及煤製品製造業、金屬製品製造業、電子零組件製造業及批發業，而這些產業極可能是造成愛河污染的污染源。



【圖 4-2-1：愛河舊地圖】

※圖片來源：<http://wrb.kcg.gov.tw/loveriver/history.aspx#>



【圖 4-2-2：硫酸鈣結晶粉末圖】

(二) 硫酸鈣(CaSO₄)

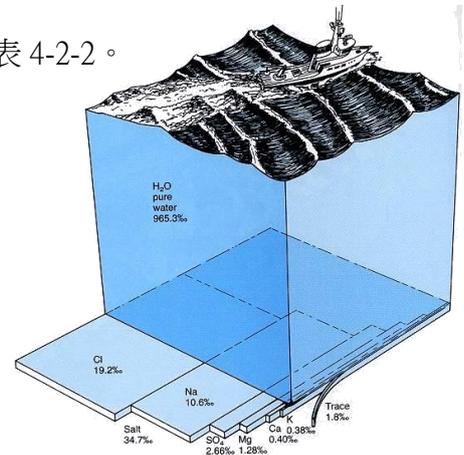
硫酸鈣，化學式為 CaSO₄，白色單斜結晶或結晶性粉末(如圖 4-2-2)，無氣味，有吸濕性，且有刺激性，通常含有 2 個結晶水，自然界中以石膏礦形式存在，其為製造水泥的原料。硫酸鈣僅微溶於水，容易形成沉澱，其溶解度與溫度關係呈特殊的先升高後降低情形，另外；其卻能溶於酸、銨鹽溶液和海水。

(三) 海水中的鹽度

鹽度(Salinity，一般均用 S 代表)：鹽度係指一公斤海水中含有之溶解物質的總克數。由於海水中溶解物質成份組成甚為複雜(如下圖 4-2-3)。全球海洋不同地區或不同深度的海水其鹽度或許不同，但海水中主要成份間的比例卻仍保持不變，海水中大約含有 3.5%之氯化鈉(NaCl)換算全球海水各溶質成分的平均含量大小(mg/L)如下表 4-2-2。

【表 4-2-2：全球海水各溶質成分的平均含量統計表】

成分	濃度 (mg/L)	成分	濃度 (mg/L)
鈉	10500	氯	19000
鉀	380	硫酸鹽	885
鎂	1350	酸式碳酸鹽	140
鈣	400	溴	65
鋇	8	硼酸	5



【圖 4-2-3：海水溶質成份組成比例圖】

(資料來源：Thurman, H. V. (1993) "Essentials of Oceanography", 4th ed.)

(四) 膠體 (colloidal dispersion)

1. 膠體

膠體 (英語：Colloid) 又稱膠狀分散體 (colloidal dispersion) 是一種均勻混合物，膠體粒子與其說是“溶於”溶劑中，不如說是“分散”於溶劑中 (因為根本不會溶)，分散質粒子直徑在 1nm~100nm 之間；一般可分氣溶膠、液溶膠及固溶膠三大類。

2. 膠體溶液

溶液分類法有好幾種，其中依溶質粒子的大小可分為真溶液、膠體溶液、懸浮液三種如下說明：(如圖 4-2-4)

- (1) 真溶液：溶質粒子為分子或離子，直徑小於 1nm，例如：糖水、鹽水、酒。
- (2) 膠體溶液：溶質粒子多為高分子、帶電粒子團等，粒子均勻分散在溶液中不會沉積，直徑在 1~100nm，例如：咖啡、牛奶，(有廷得耳效應及布朗運動)。
- (3) 懸浮液：溶質粒子大於 100nm，置放一段時間，顆粒會沉積容器底部 (有廷得耳效應、無布朗運動)。



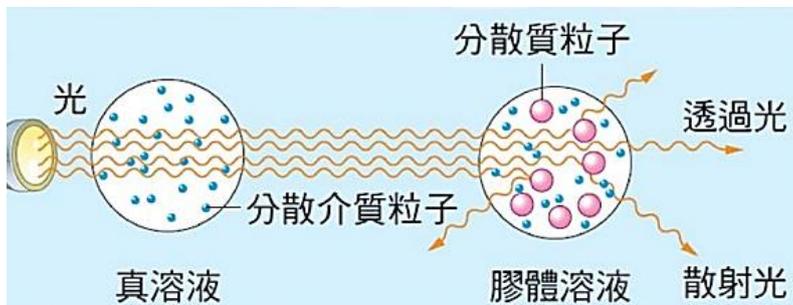
【圖 4-2-4：三大溶液分類圖】

※圖片來源：<https://medium.com/@jatiedukasi/pengertian-jenis-sifat-sifat-koloid-terlengkap-774413c16e1a>

(五) 乳光效應(廷得耳效應)

廷得耳效應（英語：Tyndall effect），又稱廷得耳現象、廷得耳效應、丁澤爾現象、丁澤爾效應。當一束光線透過膠體，從入射光的垂直方向可以觀察到膠體裡出現的一條光亮的「通路」，其原理是光被懸浮的膠體粒子（例如：乳劑、混懸劑）散射。

在光的傳播過程中，光線照射到粒子時，如果粒子大於入射光波長很多倍，則發生光的反射；如果粒子小於入射光波長，則發生光的散射，這時觀察到的是光波環繞微粒而向其四周放射的光，稱為散射光或乳光，因此廷得耳效應就是光的散射現象或稱乳光現象。由於溶膠粒子大小一般不超過 100 nm，膠體粒子介於溶液中溶質粒子和濁液粒子之間，其大小在 1 ~ 100nm。小於可見光波長（400 nm ~ 700 nm），因此，當可見光透過溶膠時會產生明顯的散射作用。此外，散射光的強度還隨溶液中粒子濃度增大而增強。所以說，膠體能有廷得耳現象，而溶液幾乎沒有，故廷得耳效應是區分膠體與溶液常用的物理方法，其現象產生示意如下圖 4-2-5，因此；用雷射筆或小手電照射膠體，膠體微粒好像一個發光體，無數發光體散射結果，從側面能觀察到一條光亮的通路，如圖 4-2-6。



【圖 4-2-5：廷得耳現象的產生機制示意圖】

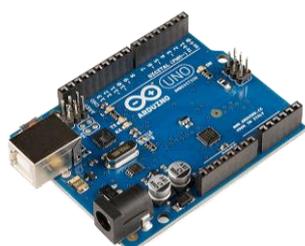


※圖片來源：www.csbvtfw.com 實驗室虛擬儀器工程平台 【圖 4-2-6：廷得耳現象的實驗觀測圖】

Arduino 電路板配有一組數字和類比 I/O 引腳，可以連接各種擴充板或麵包板（封鎖板）

和其他電路，因此；可簡單地與感測器，各種電子元件(如：紅外線、超音波、熱敏電阻、光敏電阻、伺服馬達…等)連接，另外；經由取得硬體的設計檔，針對符合自己實際設計的需求，方便加以進行調整電路板及元件。

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench，實驗室虛擬儀器工程平台)，引入了特別的虛擬儀表(如圖 4-2-8)的概念，使用者可透過人機介面直接控制自行開發之儀器並提供豐富實用的函式庫(如：訊號擷取、訊號分析、機器視覺、數值運算、邏輯運算、聲音震動分析、資料儲存...等)，目前廣泛的被應用於工業自動化之領域上。



【圖 4-2-7：Arduino 電路板圖】



【圖 4-2-8：LabVIEW 虛擬儀表圖】

三、新聞資料分析

搜尋「愛河變牛奶河」之相關新聞報導，進行事件內容資料整理，並分析，歸納相關之研究變因如下：

(一)研究主題相關新聞之基本資料

1. 新聞標題：「高雄愛河變"牛奶河" 元兇抓到竟是它」
2. 報導時間：2018/03/21
3. 事件地點：高雄市三民區明誠橋
4. 新聞報導來源：華視新聞(黃育仁綜合報導/高雄市)

<https://news.cts.com.tw/cts/life/201803/201803221918170.html>

(二) 報導內容資料整理與研究變因分析歸納：

	報導內容(資料整理)	研究變因(分析歸納)
(1)	愛河在季節變換時常有變色狀況。	季節氣候(溫度、雨量)
(2)	本事件多發生於明誠橋河段(如圖 4-3-1)	河段地理位置及區域環境
(3)	本事件主因是該河段沉積物因溫度升高、降低、海水漲退潮等環境因素，再	1.沉積物隨溫度變化的溶解度(沉積) 2.海水漲退潮

	度由沉積物變為膠體，使得水色呈白濁。	3.沉積物形成的白色膠體
(4)	高市府環保局表示經環保署檢驗所採檢分析，河道中乳白色成分是硫酸鈣 (CaSO ₄)，此事件為自然環境與河道沉積物特性等因素產生的自然現象，不是汙染事件。	1.硫酸鈣(CaSO ₄)白色沉積物特性 2.自然環境與河道沉積物特性 3.自然現象
(5)	河水中乳白色成分，經鑑定發現是水中過多硫酸根離子與鈣離子在高溫環境下產生硫酸鈣膠體，因光線散色產生乳光效應，導致河水看來呈乳白色。	1.河水中有過多硫酸根離子與鈣離子 2.高溫環境產生硫酸鈣膠體 3.硫酸鈣膠體造成乳光效應
(6)	專家表示質疑：「理論上海水中確實有較多的硫酸根與鈣離子，受到高溫變得不易溶解而形成硫酸鈣，但是；結論須對照河水採檢時實際溫度與溶解度，並比對愛河感潮帶範圍，由實際檢驗報告才能評斷說法是否為真」。	1.海水中有較多的硫酸根與鈣離子 2.河水當時實際溫度與溶解度 3.愛河的感潮帶範圍

※(推測)其它可能的影響變因
(1) 河水中其他固態呈白色且 Ksp (溶度積)與硫酸鈣相近的化合物。
(2) 河水中膠體的種類與性質。
(3) 河水的酸鹼 PH 值。
(4) 河水的表層的流速。
(5) 河道的深度。

➡ 本研究後續將以新聞報導分析歸納之各項研究變因為主要研究探討項目。



【圖 4-3-1：愛河變牛奶河新聞照片】

※圖片來源：<https://news.cts.com.tw/cts/life/201803/201803221918170.html>

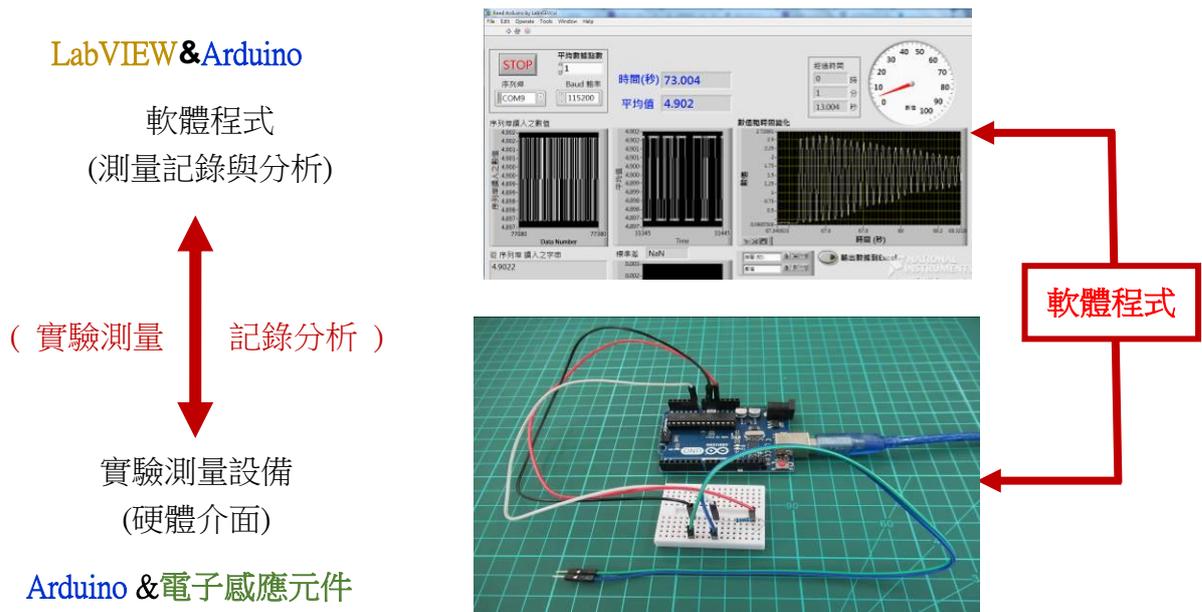
四、實驗裝置與程式設計

本研究運用 Arduino 電路板連結電子感測元件，結合 LabVIEW 程式平台，針對探討研究

變因的實驗裝置、量測電路與軟體程式之相關設計，說明如下：

(一) 實驗設計概念

本研究將 Arduino 電路板連結電子感測元件(感應探針、熱敏電阻及光敏電阻)的量測電路，進行實驗測量，透過軟體程式計算處理，結合 LabVIEW 程式平台擷取訊號，並同時分析與儲存資料，其設計概念如圖 4-4-1。



【圖 4-4-1：實驗設計概念圖】

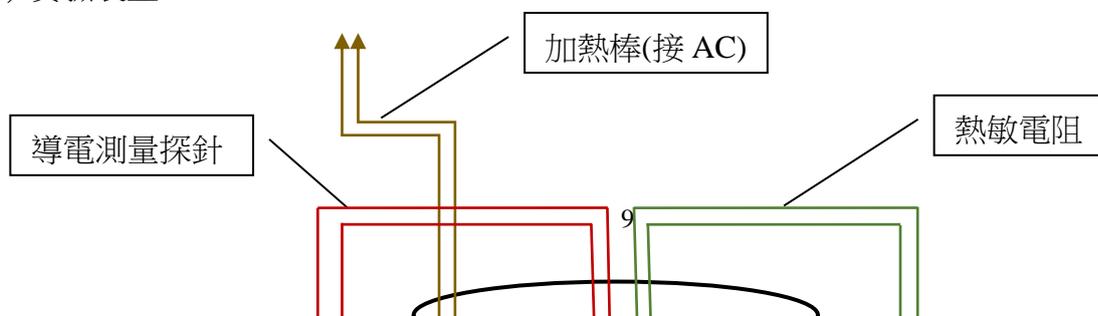
(二) 實驗裝置設計

本研究針對硫酸鈣溶液的溶解度(沉積)、乳光效應與溫度及海水鹽度之變因關係，利用感應探針、光敏電阻及熱敏電阻作為測量感測器，設計實驗裝置及實驗步驟說明如下：

1. 測量硫酸鈣溶液溶解度(沉積)與溫度之關係

本研究依據硫酸鈣於溶液中解離(解離式： $\text{CaSO}_{4(\text{aq})} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$)，利用感應探針測量其溶液的導電度，當硫酸鈣溶解越多，其解離會越大，相對地其導電度亦將變大的原理，以比較硫酸鈣溶液溶解度(沉積)情形，其實驗裝置如下圖 4-4-2 及實驗步驟如下：

(1) 實驗裝置

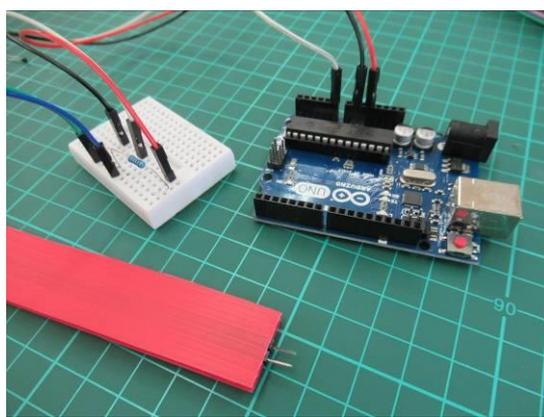
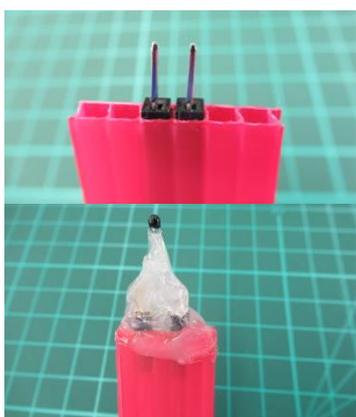


(2) 實驗步驟：

(2.1) 配製 5°C 硫酸鈣飽和溶液 250ml(底部保留多餘沉澱；以確保任何溫度下硫酸鈣均可達最大溶解度)，放入 3000ml 水槽中，以加熱棒緩慢隔水加熱至 60°C。

(2.2) 分別經由導電測量探針及熱敏電阻，如圖 4-4-3，透過量測電路板及 Arduino 電路板將訊號處理並讀取至電腦上 LabVIEW 程式平台，如圖 4-4-4。

(2.3) 重複以上實驗三次，分別使用 LabVIEW 程式平台擷取導電度、溫度隨時間的變化關係，再彙整至計算作圖軟體程式進行分析與作圖。



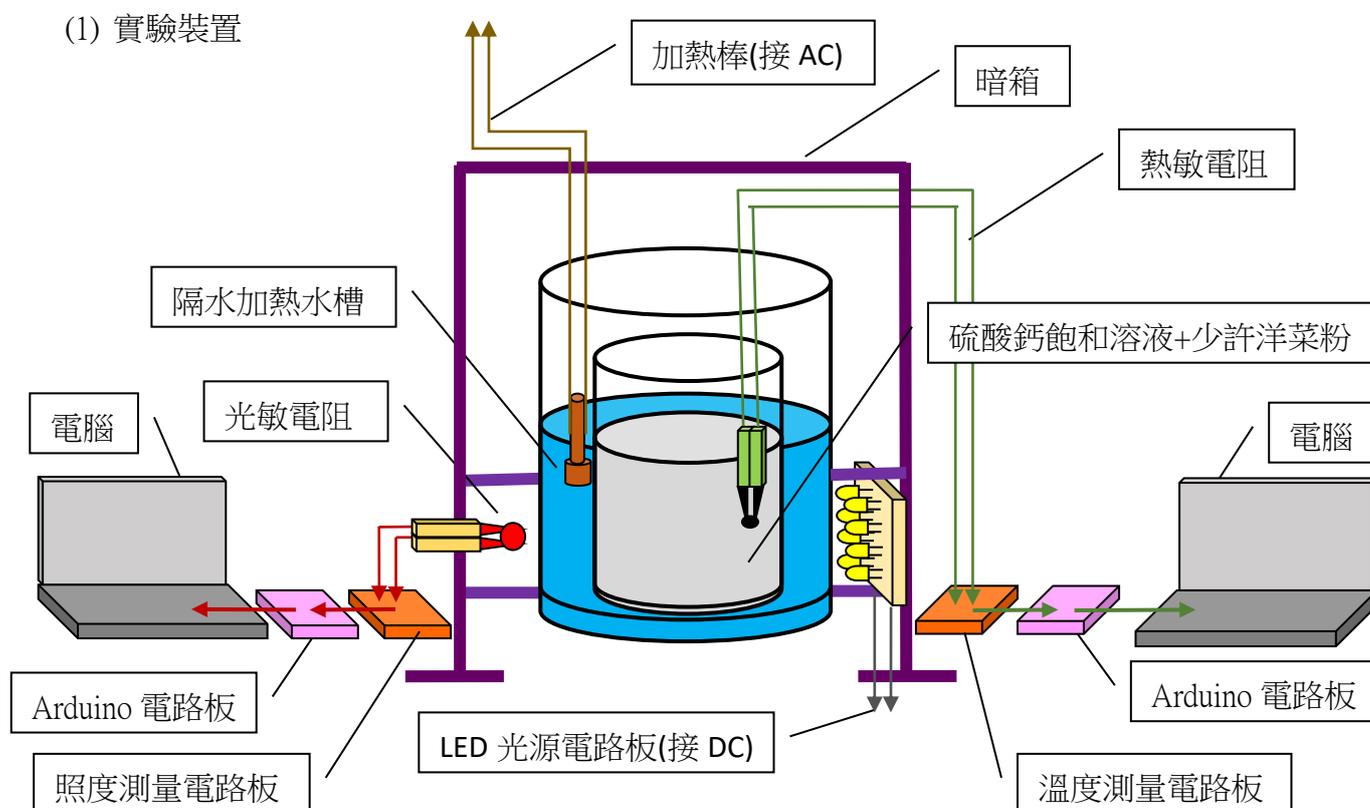
【圖 4-4-3：自製導電探針與熱敏電阻測量裝置】

【圖 4-4-4：導電度與溫度量測電路裝置圖】

2. 測量硫酸鈣膠體乳光效應與溫度之關係

本研究藉由硫酸鈣飽和溶液加入少量洋菜作為液溶膠，透過硫酸鈣沉澱物附著於洋菜液溶膠之膠質粒上，形成白色膠體，利用光敏電阻測量其溶液的遮光度，當硫酸鈣膠體形成越多，

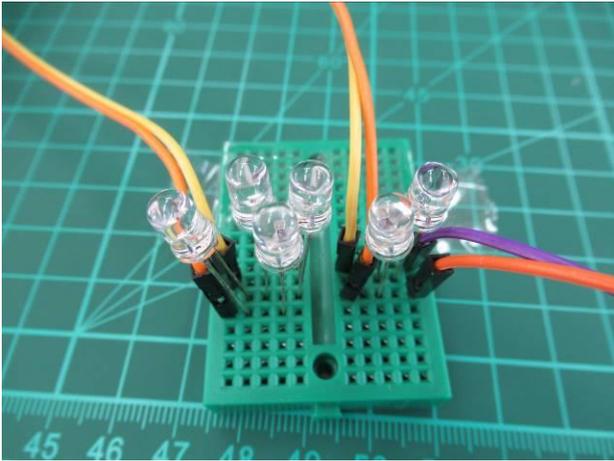
其所造成的乳光效應(散射)越明顯，其遮光度越大的原理，以比較硫酸鈣膠體乳光效應與溫度變化的情形，其實驗裝置如下圖 4-4-5 及實驗步驟如下：



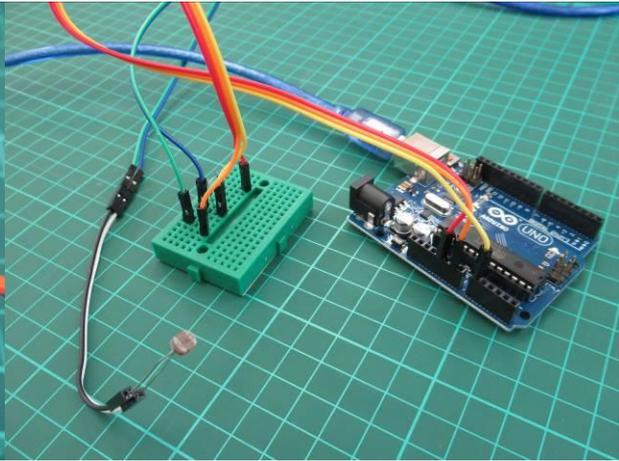
【圖 4-4-5：硫酸鈣膠體乳光效應與溫度實驗裝置圖】

(2) 實驗步驟：

- (2.1) 取 10g 洋菜配製 100ml 洋菜液溶膠，再加入硫酸鈣配製 5°C 飽和溶液 250ml(底部保留少量沉澱；以確保任何溫度下硫酸鈣均可達到最大溶解度)，放入 3000ml 水槽中，再以暗箱覆蓋，以加熱棒緩慢隔水加熱至 60°C。
- (2.2) 開啟 LED 光源，如圖 4-4-6，分別經由光敏電阻及熱敏電阻，透過量測電路板及 Arduino 電路板將訊號處理並讀取至電腦上 LabVIEW 程式平台，如圖 4-4-7。
- (2.3) 重複以上實驗三次，分別使用 LabVIEW 程式平台擷取導電度、溫度隨時間的變化關係，再彙整至計算作圖軟體程式進行分析與作圖。



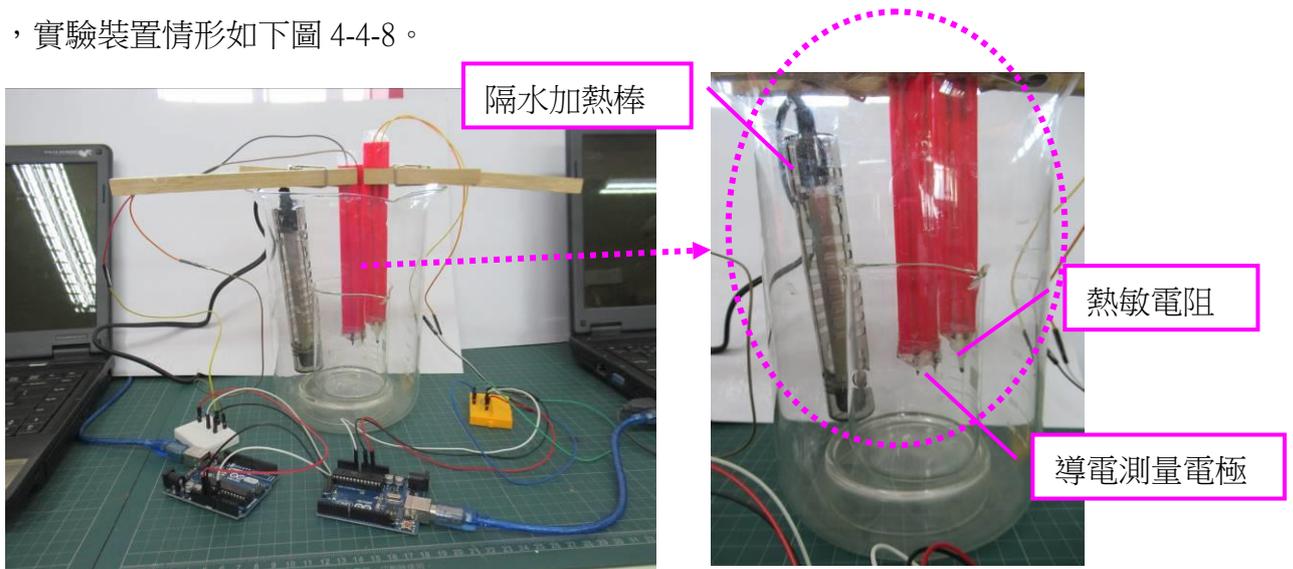
【圖 4-4-6：LED 光源電路板裝置圖】



【圖 4-4-7：光敏度與溫度量測電路裝置圖】

3. 測量硫酸鈣與食鹽水混和溶液，硫酸鈣溶解度(沉積)與溫度之關係

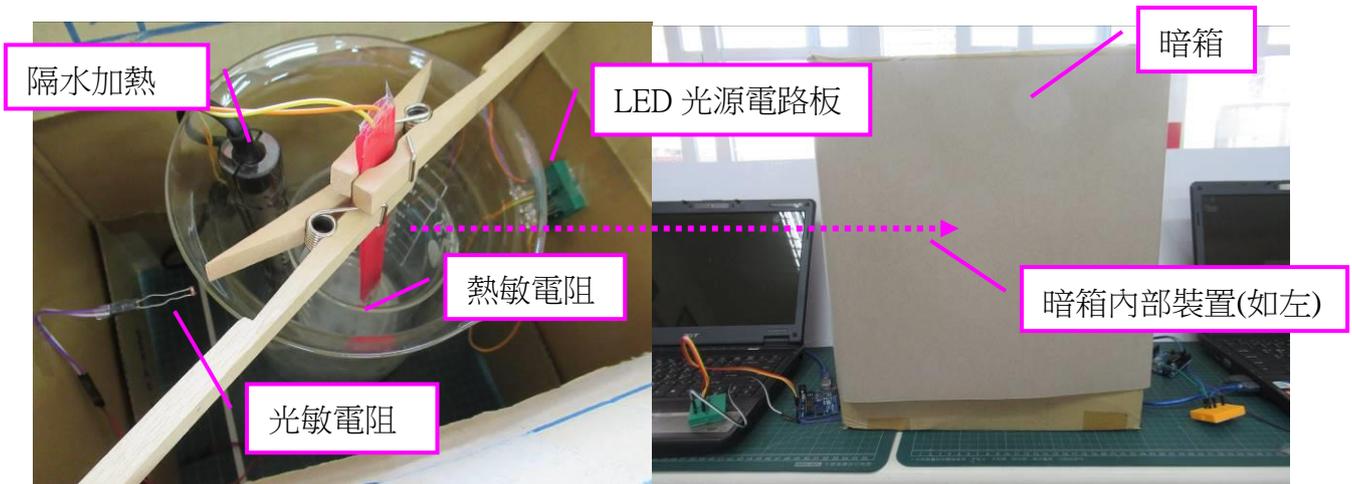
本研究配製硫酸鈣與食鹽水(約 1/2 海水鹽度=15.0g 鹽/L 水)混合溶液，混合溶液底部仍保留多餘硫酸鈣沉澱；以確保任何溫度下硫酸鈣均可達最大溶解度，其實驗裝置及實驗步驟同(二).1，實驗裝置情形如下圖 4-4-8。



【圖 4-4-8：測量硫酸鈣與食鹽水混和溶液，硫酸鈣溶解度(沉積)與溫度實驗裝置圖】

4. 測量硫酸鈣膠體與食鹽水混和溶液之乳光效應及溫度之關係

本研究取洋菜配製洋菜液溶膠，再加入硫酸鈣與食鹽水(約 1/2 海水鹽度=15.0g 鹽/L 水)混和溶液，混合溶液底部仍保留多餘硫酸鈣沉澱；以確保任何溫度下硫酸鈣均可達最大溶解度，其實驗裝置及實驗步驟同(二).2，實驗裝置情形如下圖 4-4-9。



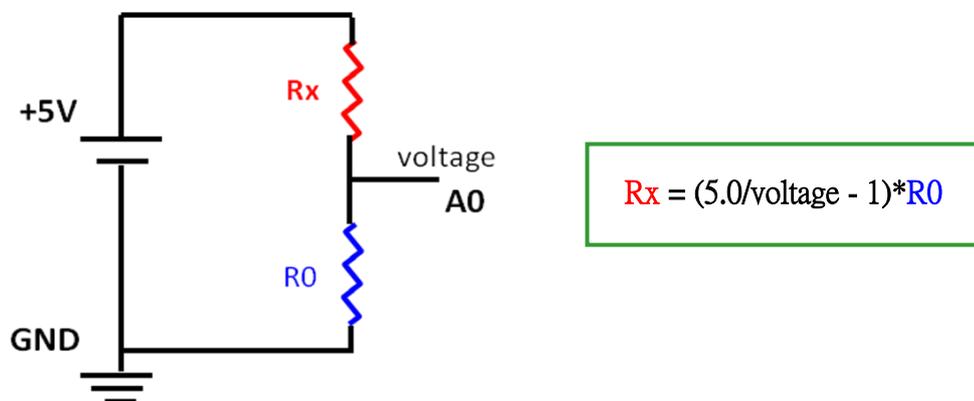
【圖 4-4-9：測量硫酸鈣與食鹽水混和溶液，硫酸鈣溶解度(沉積)與溫度實驗裝置圖】

(三) 量測電路與軟體程式設計

本研究針對實驗操作變因(導電度、溫度及光照度)，運用 Arduino 電路板連接一個量測電路(含導電量測探針、熱敏電阻及光敏電阻)，將擷取訊號，再經由編修的軟體程式計算處理後，傳送至 LabVIEW 程式平台進行紀錄、分析與儲存，其量測電路、計算公式及軟體程式設計說明如下：

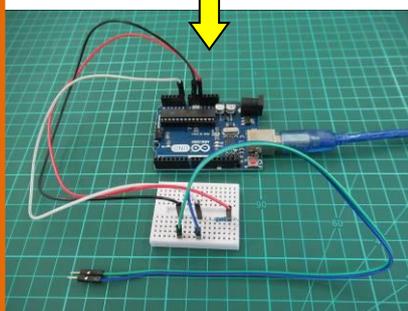
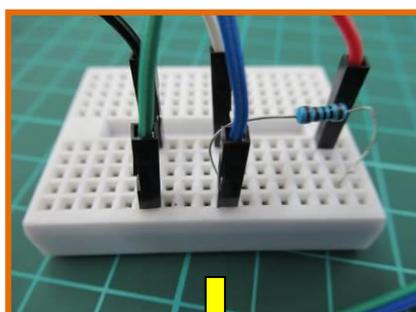
1. 量測電路設計及計算公式說明

將導電量測探針的電阻、熱敏電阻及光敏電阻設定為未知電阻 R_x ，分別將其與 $1\text{ k}\Omega$ 電阻(已知電阻 R_0)串聯，再將 R_x 電阻一端接 5V 電源， R_0 電阻一端接地，中間分壓送到 Arduino 的 A0 引腳讀取電壓 voltage ，並由以下公式計算得到 R_x 電阻值，傳回電腦進行後續處理，其量測電路設計圖及計算公式(如圖 4-4-10)，並分別將操作方式說明如下：



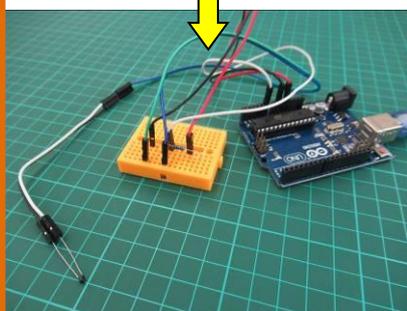
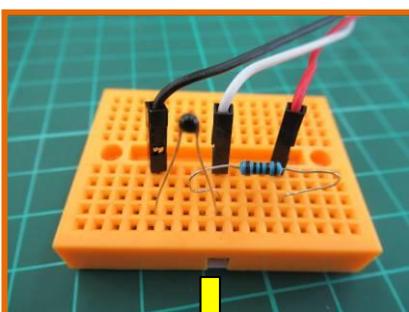
【圖 4-4-10：測量電路設計圖及計算公式】

- (1) 將導電量測探針與 $1\text{ k}\Omega$ 電阻串聯，再將導電量測探針一端接 5V 電源， $1\text{ k}\Omega$ 電阻一端接地(如圖 4-4-11a)，中間分壓送到 Arduino 的 A0 引腳讀取電壓 voltage，由分壓計算得到導電量測探針兩端的電阻值，換算成溶液導電度，傳送到電腦。
- (2) 將熱敏電阻與與 $1\text{ k}\Omega$ 電阻串聯，再將導電量測探針一端接 5V 電源， $1\text{ k}\Omega$ 電阻一端接地(如圖 4-4-11b)，中間分壓送到 Arduino 的 A0 引腳讀取電壓 voltage，由分壓得到熱敏電阻值，換算成溫度，傳送到電腦。
- (3) 將光敏電阻與與 $1\text{ k}\Omega$ 電阻串聯，再將導電量測探針一端接 5V 電源， $1\text{ k}\Omega$ 電阻一端接地(如圖 4-4-11c)，中間分壓送到 Arduino 的 A0 引腳讀取電壓 voltage，由分壓得到光敏電阻值，傳送到電腦。



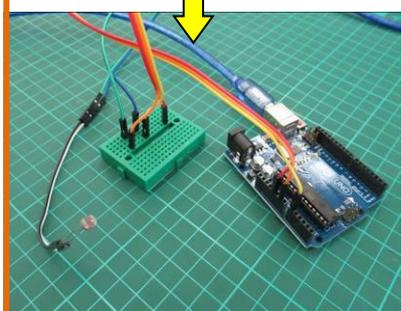
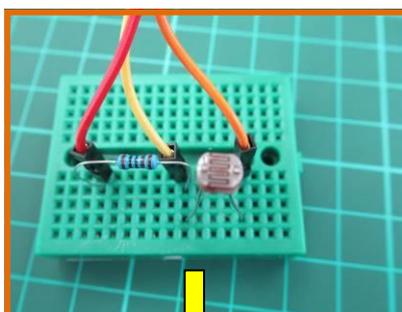
【圖 4-4-11a】

導電電極量測電路裝置圖



【圖 4-4-11b】

熱敏電阻量測電路裝置圖



【圖 4-4-11c】

光敏電阻量測電路裝置圖

2. Arduino 電路板軟體程式設計：

本研究針對量測電路之設計，編修 Resistance-value.ino 及 Temperature-R-type.ino 兩項 Arduino 電路板程式(下載處: <https://sites.google.com/view/lab-maker>)，以計算得到 Rx 電阻值，傳回電腦 LabVIEW 程式平台進行紀錄、分析與儲存，其軟體程式設計說明如下：

(1) Resistance-value.ino

此程式將未知電阻 R_x (光敏電阻)與 已知電阻 R_0 串聯， R_x 電阻一端接 5V， R_0 電阻一端接地，中間分壓送到 Arduino A0 引腳讀取電壓，再換算成未知電阻 R_x 值傳送到電腦，程式說明如下：

```
float R0 = 1000; // 設定 已知電阻 R0 的電阻值，此處 R0 = 1 千歐姆 (1 k $\Omega$ )
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial) { ; }
}
void loop() {
  float voltage = 5.0*analogRead(A0)/1023;
  // 從 A0 腳位讀入 類比訊號，換算成 電壓值 (存入變數 voltage 中)
  float Rx = (5.0/voltage - 1)*R0;
  // 從 已知電阻 R0 與未知電阻 Rx 的中間點分壓，計算出未知電阻 Rx 的電阻值
  Serial.println(Rx,2); // 將電阻值 Rx 送到 序列埠 暫存器(取精度小數下 2 位)，並換行
  Serial.flush();      // 等待 序列埠暫存器 傳完(清空)
```

(2) Temperature-R-type.ino

此程式使用熱敏電阻 R_x 與 已知電阻 R_0 串聯，熱敏電阻一端接 5V，已知電阻一端接地，中間分壓送到 Arduino A0 引腳讀取電壓，再換算成溫度值 T 傳送到電腦，程式說明如下：

```
float R0 = 1000; // 設定 已知電阻 R0 的電阻值= 1 千歐姆 (1 k $\Omega$ )
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial) { ; }
}
void loop() {
  float voltage = 5.0*analogRead(A0)/1023;
  float Rx = (5.0/voltage - 1)*R0;
  float temp = 0.001129148+0.000234125*log(Rx)+0.0000000876741*(log(Rx))*(log(Rx))*(log(Rx));
  //將熱敏電阻值 Rx 換算成 絕對溫度值的倒數
  float T = 1/temp -273.15; // 得到溫度值，單位為 度 C
  Serial.println(T,4); // 將溫度值 T 送到 序列埠 暫存器(取精度小數下 4 位)，並換行
  Serial.flush();      // 等待 序列埠暫存器 傳完(清空)
}
```

五、實地踏查變色河段區域進行採樣及檢測

研究者於 2020/2/21 實際前往變色河段(明誠橋)實地踏查河水情形及採樣，並以 MMWD 水質檢測包進行水質檢測(如圖 4-5-1 及圖 4-5-2)。

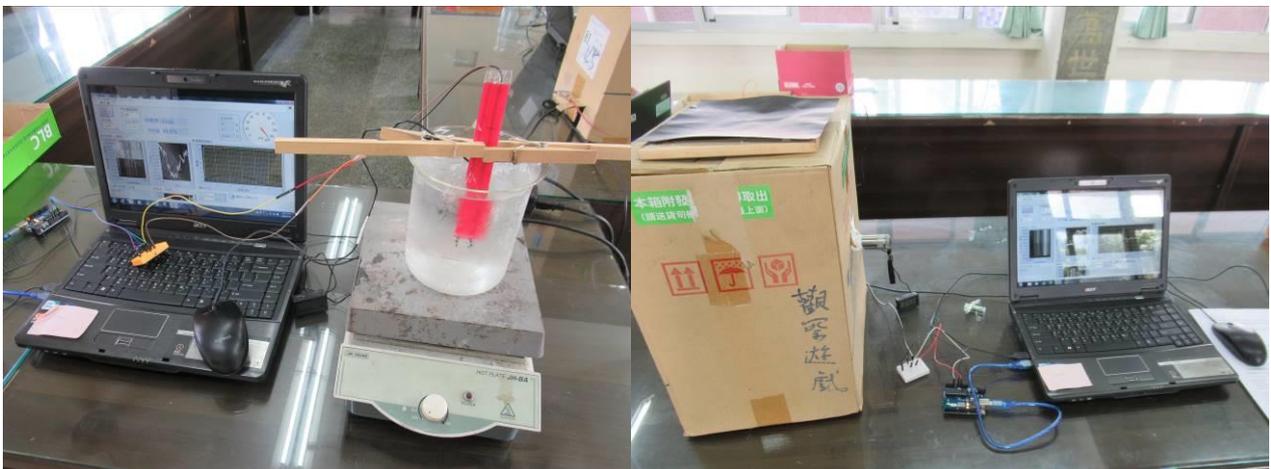


【圖 4-5-1：變色河段「明誠橋」踏查及採樣】



【圖 4-5-2：變色河段「明誠橋」採樣河水以 MMWD 檢測圖】

後續將採樣的河水運用自製 Arduino 測量實驗裝置，進行檢測該河段河水之溶解度(沉積)、乳光效應與溫度之關係與探討分析(如圖 4-5-3 及圖 4-5-4)。



【圖 4-5-3：採樣河水溶解度與溫度檢測實驗】

【圖 4-5-4：採樣河水乳光效應與溫度檢測實驗】

伍、研究結果與討論

一、探討愛河變色河段的水源、流域、人類活動與污染情形，並分析新聞報導之相關變因。

(一) 愛河變色河段(明誠橋)的流域、人類活動與污染情形：

根據文獻資料分析，愛河流域涵蓋高雄市面積的 40%，是高雄市最重要的洩洪道，高雄市的產業發展重心為：基本金屬製造業、化學材料製造業、石油及煤製品製造業、金屬製品製造業、電子零組件製造業及批發業，而這些產業極可能是造成愛河污染的污染源，其各行政區域經濟、工業與人口分布狀況統計(如表 5-1-1)，其人類活動與污染情形整理如下：

1. 愛河流域以民生污水(約占 96%)為主，主要以三民區為主要來源，然中下游多已完成截流，目前以上游北屋排水、榮總排水、D 幹線及沿岸大中一路左右岸、民族橋左右岸…等箱涵為主要污染來源。
2. 愛河流域的事業廢水污染約占 4%，其流域周邊之列管事業包括醫院、電鍍業及觀光旅館…等共 19 種行業別，約為 179 家，其中以營建工地 107 家所占比例最多，占全流域 59.8%，其次為洗車場 20 家，占全流域 11.2%，其他指定地區為 16 家，占全流域 8.9%。

【表 5-1-1：愛河流域各行政區域經濟、工業與人口分布狀況統計表】

行政區	人口數(人)	經濟與工商業(生產總額占該業比率)
鹽埕區	29436	觀光零售業
鼓山區	114206	水泥業、電力及燃氣供應業(13.83%)
前金區	30865	財金業
三民區	358012	批發業(16.80%)、專門營造業(12.92%)、零售業(16.01%)、運輸工具及零件製造業(26.68%)
仁武區	86085	化學材料製造業(16.98%)
左營區	184000	批發業(13.74%)醫療保健服務業(10.40%)

由以上文獻資料分析歸納，明誠橋位於高雄市三民區，其上游有左營區與仁武區，以其流域主要的污染源比例(如圖 5-1-1)；研究結果推測其變色河段(明誠橋)的流域主要為三民區民生污水(約占 96%)、運輸工具及零件製造業(26.68%)及仁武區化學材料製造業(16.98%)影響，另由 google 地圖(如圖 5-1-2)查看上游的仁武區分布眾多的水泥及混凝土工廠，而硫酸鈣(CaSO_4)為水泥製造的原料，因此；本研究推測其可能為牛奶河變色提供硫酸鈣的污染來源之一。

愛河流域汙染源比例圖



【圖 5-1-2：仁武區域的水泥廠分布 google 地圖】

【圖 5-1-1：愛河流域主要的汙染源流域與比例圖】

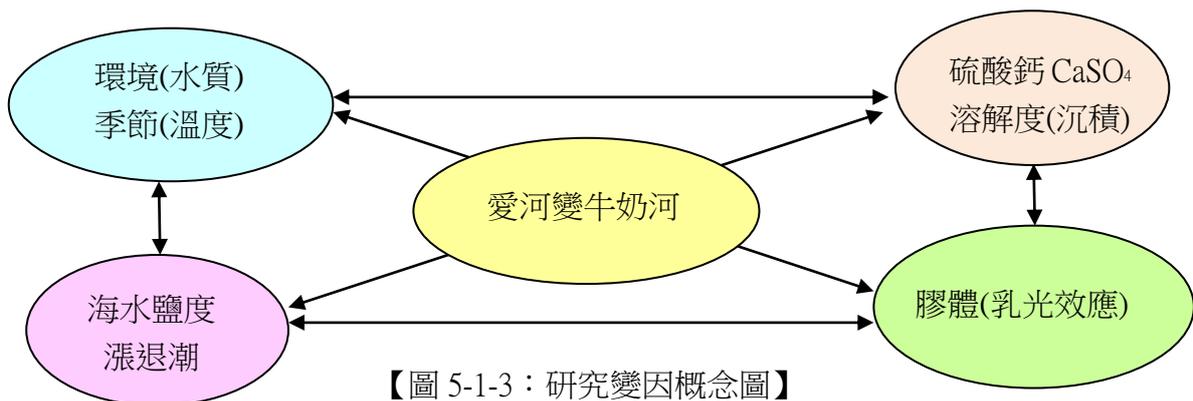
※圖 5-1-2 資料來源：<https://www.google.com/search?sxsrf=ALeKk015sMOBkrJn8R4i-uan8Wbn4JNejA>

(二)愛河變色河段(明誠橋)之研究相關變因

經由相關新聞內容資料整理可分析歸納以下三項研究探討的變因：

1. 河段地理位置、區域環境(有無過多硫酸根離子與鈣離子)與當時季節氣候(溫度)及海水(鹽度、漲退潮)的關係。
2. 硫酸鈣 (CaSO₄) 溶解度(沉積)與溫度變化及海水(鹽度、漲退潮)的關係。
3. 硫酸鈣膠體造成乳光效應與溫度變化及海水(鹽度、漲退潮)的關係。

由以上文獻資料分析歸納，愛河變色河段(明誠橋)之研究相關變因概念如圖 5-1-3 所示：

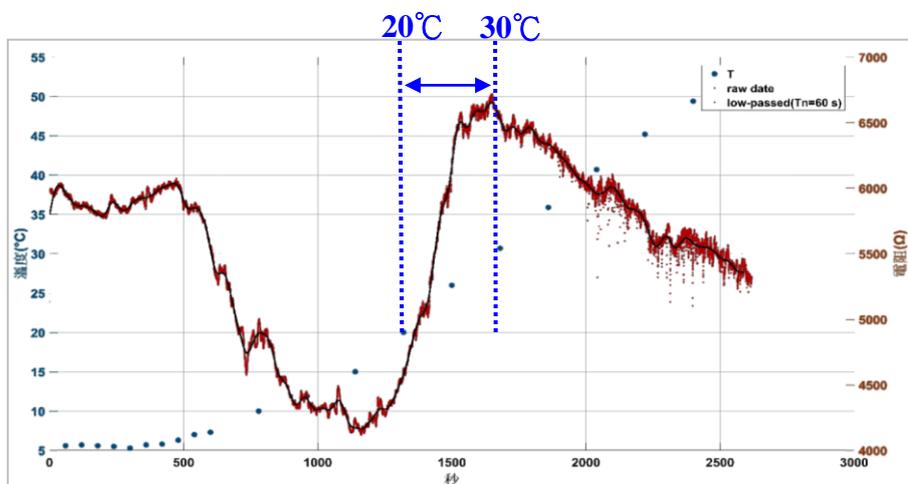


【圖 5-1-3：研究變因概念圖】

二、結合 Arduino 與 LabVIEW 程式，設計實驗裝置檢測硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與相關變因之探討。

本研究實驗設計測量的電阻值越大，即代表溶液導電度(溶解度)越小，故亦表示溶液的沉澱量增加。此外；本研究實驗的光敏電阻，在無光時測量的電阻值為零，在環境光下大約 45000Ω，因此；測量的電阻值越小，代表其遮光能力越大，故亦表示溶液的乳光效應相對就越明顯。各實驗關係圖中的藍色點為溫度值，紅色點為實測電阻值，黑色曲線為濾波(60 秒)後資料，以下就硫酸鈣溶液導電度(溶解度)、乳光效應與相關變因之實驗結果探討如下：

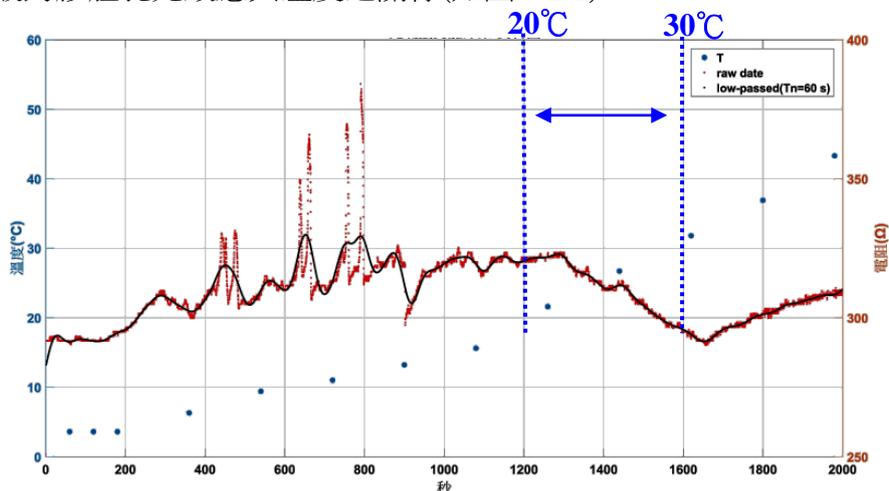
(一) 測量硫酸鈣溶液溶解度(沉積)與溫度之關係(如圖 5-2-1)



【圖 5-2-1：硫酸鈣溶液導電度(溶解度)與溫度實驗結果關係圖】

【結果討論】：分析實驗結果關係圖可發現，硫酸鈣溶液的溶解度隨著溫度上升(10°C~50°C)有先降後增的趨勢，其中 20°C~30°C 的變化最為明顯(電阻值約相差 1500Ω)，且約於 30°C 左右時，其溶解度降至最小，亦即表示其沉澱量相對最大。

(二) 測量硫酸鈣膠體乳光效應與溫度之關係(如圖 5-2-2)

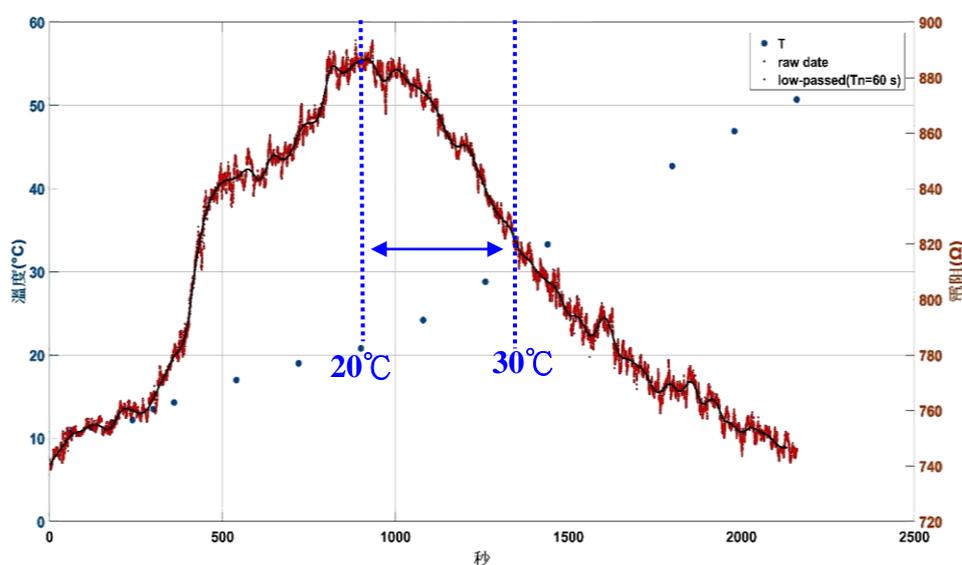


【圖 5-2-2：硫酸鈣膠體乳光效應(電阻值)與溫度實驗結果關係圖】

【結果討論】：分析實驗結果關係圖可發現，硫酸鈣溶液的遮光能力隨著溫度上升(20°C~40°C)有先增後降的趨勢，其中 20°C~30°C 的變化最為明顯，且約於 30°C 左右時，其遮光能力最大，亦即表示其乳光效應最為明顯。

綜合(一)及(二)的實驗結果分析，硫酸鈣溶液的乳光效應明顯受到其硫酸鈣沉澱量增加(溶解度降低)而形成大量膠體的影響，隨著溫度上升(20°C~40°C)皆有先增後降的趨勢，並且於 20°C~30°C 的變化最為明顯，且約於 30°C 左右時，達到最大值。

(三) 測量硫酸鈣與食鹽水混和溶液，硫酸鈣溶解度(沉積)與溫度之關係(如圖 5-2-3)

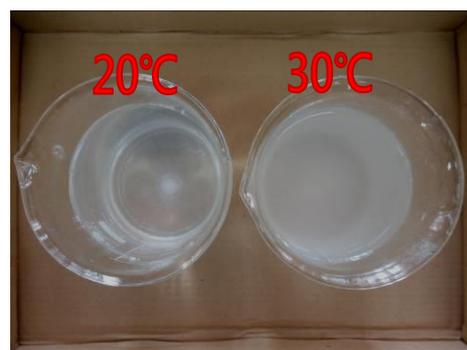
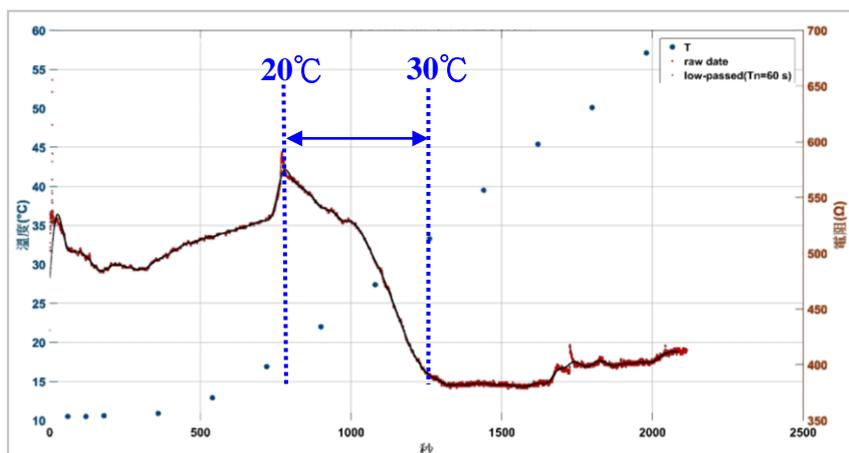


【圖 5-2-3：硫酸鈣與食鹽水混和溶液導電度(溶解度)與溫度實驗結果關係圖】

【結果討論】：分析實驗結果關係圖可發現，硫酸鈣與食鹽水混和溶液的導電度隨著溫度上升(10°C~50°C)有先降後增的趨勢，約於 20°C 時其溶解度降至最小，亦即表示其沉澱量相對最大。

綜合(一)及(三)的實驗結果分析，當硫酸鈣與食鹽水混和時，其關係圖中的紅色點的實測電阻值分布，將會往溫度較低的方向往前移，溶解度的最小值出現的溫度會降低至約 20°C~25°C，且 20°C~30°C 的變化仍最為明顯，此外；受到溶液中氯化鈉解離導電的影響，使得 20°C~30°C 的溶解度變化(電阻值約相差 50Ω)；約為僅含硫酸鈣的水溶液變化之 1/300，由此可推測：硫酸鈣的溶解度的確受到海水(鹽度)的影響，其與文獻資料「硫酸鈣較易溶於海水」的現象相符合，亦可顯示本研究實驗設計具有相當的可信度。

(四) 測量硫酸鈣膠體與食鹽水混和溶液之乳光效應及溫度之關係(如圖 5-2-4)



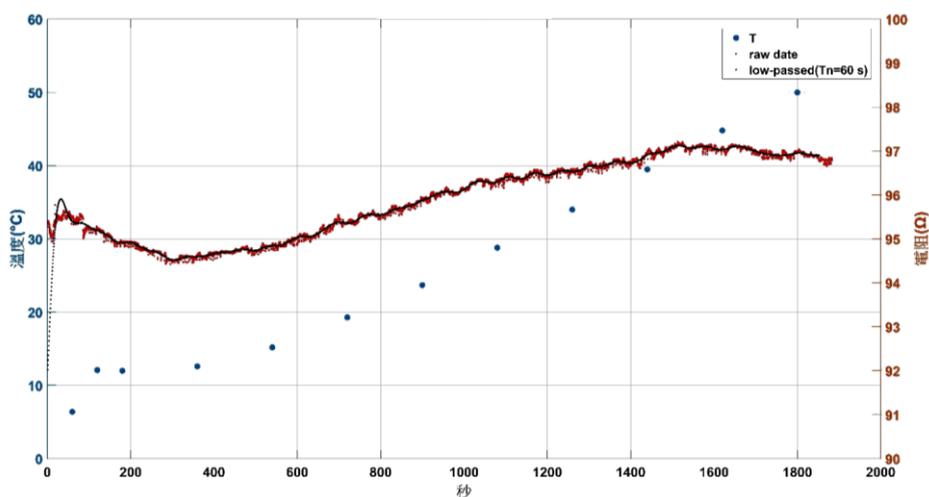
【圖 5-2-5：硫酸鈣與食鹽水混合溶液 20°C 與 30°C 乳光效應對照圖】

【圖 5-2-4：硫酸鈣與食鹽水混和溶液乳光效應(電阻值)與溫度實驗結果關係圖】

【結果討論】：分析實驗結果關係圖可發現，硫酸鈣與食鹽水混和溶液的遮光能力隨著溫度上升(10°C~45°C)有先降後增的趨勢，其中 20°C~30°C 的變化最為明顯，對照如圖 5-2-5，且約為 30°C 左右時，其遮光能力最大，亦即表示其乳光效應最為明顯。

綜合(二)及(四)的實驗結果分析，硫酸鈣與食鹽水混和溶液的乳光效應，皆於 20°C~30°C 的變化最為明顯，且同樣約 30°C 左右時，達最大值。另外；綜合分析(三)及(四)的實驗結果，因硫酸鈣溶於鹽水，其膠體的乳光效應相較不明顯，足見本研究設計可靈敏測出此微小變化。

(五) 測量採水樣品溶解度(沉積)與溫度之關係(如圖 5-2-6)

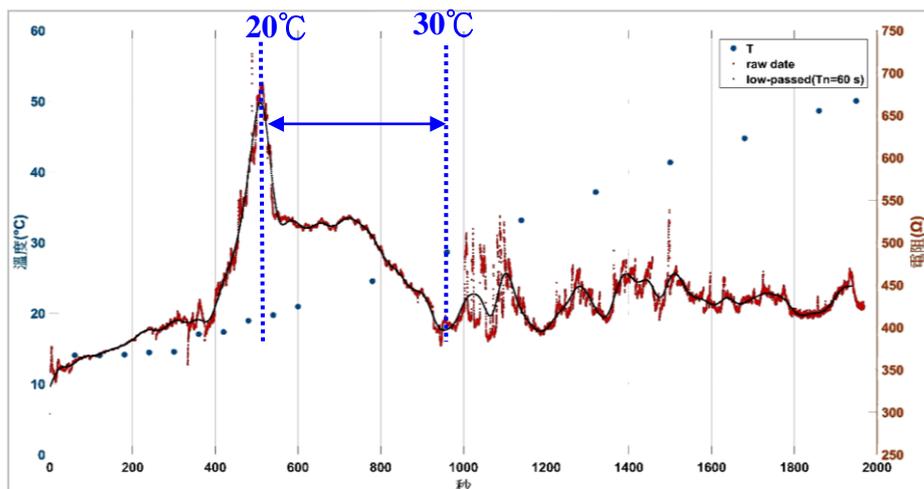


【圖 5-2-6：採水樣品導電度(溶解度)與溫度實驗結果關係圖】

【結果討論】：分析實驗結果關係圖可發現，採水樣品的導電度隨著溫度上升(10°C~40°C)有緩慢增加的趨勢(變化不大)，其變化與全國水質統計資料相比較；可得知實驗結果是合理的。

綜合(一)、(三)及(五)的實驗結果分析，推測採水樣品中的溶質(電解質)眾多複雜，彼此產生調節作用(測量電阻值相對小很多)，故實驗結果並無與(一)及(三)相似的變化情形。

(六) 測量採水樣品之乳光效應及溫度之關係(如圖 5-2-7)



【圖 5-2-7：採水樣品乳光效應(電阻值)與溫度實驗結果關係圖】

【結果討論】：分析實驗結果關係圖可發現，採水樣品的遮光能力隨著溫度上升(10°C~30°C)有先增後降的趨勢，其中 20°C~30°C 的變化最為明顯，且約為 30°C 時，其遮光能力最大，亦即表示其乳光效應最為明顯，而後 30°C~50°C 則呈現較為穩定的情形。

綜合(二)、(四)及(六)的實驗結果分析，採水樣品的乳光效應變化，明顯與硫酸鈣與食鹽水混和溶液的測量電阻值大小範圍相近，且乳光效應變化相似，故可推測牛奶河確實有可能是河水中的硫酸鈣受到海水(鹽度)及溫度變化的影響而產生的現象。

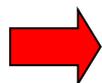
(七) 本研究調查全國水質監測針對愛河測量的各項常見鹽類及金屬離子，綜合整理如下表

5-2-1，並核對各化合物溶度積(K_{sp})表，挑選出三項溶度積(K_{sp})與硫酸鈣相近，且固態亦呈白色的化合物，如下表 5-2-2，進行實驗測量各化合物(碳酸鎂、氯化鉛及氫氧化鈣)膠體乳光效應與溫度之關係，如圖 5-2-8、圖 5-2-9 及圖 5-2-10，分析實驗結果如下：

【表 5-2-1：愛河水質監測常見測量的各項鹽類及金屬離子統計表】

鹽類	金屬離子
氯鹽	錳 Mn
硝酸鹽	鋅 Zn
亞硝酸鹽	鉛 Pb
硫酸鹽	銅 Cu
碳酸鹽	鈣 Ca
磷酸鹽	鎂 Mg
氫氧根化合物	鐵 Fe
銨根化合物	銀 Ag

1.整理挑選

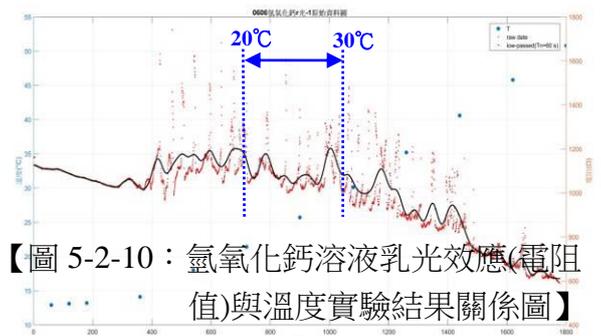
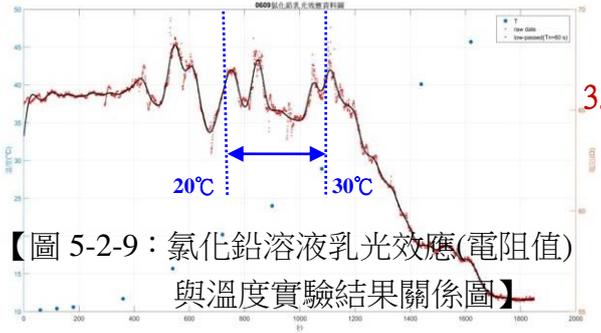
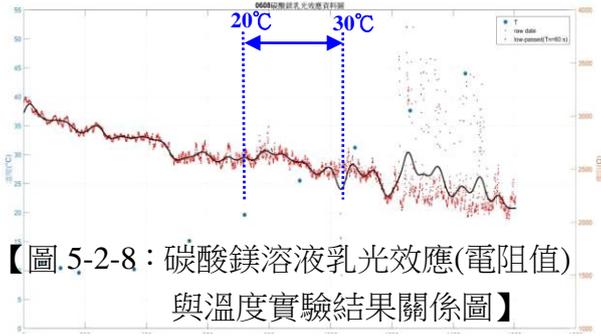


【表 5-2-2：溶度積(K_{sp})與硫酸鈣相近的實驗測量化合物之溶度積(K_{sp})統計表】

溶度積表				
化合物	化學式	溫度	K_{sp}	來源
硫酸鈣	CaSO ₄	25°C	4.93×10^{-5}	CL
碳酸鎂	MgCO ₃	12°C	2.6×10^{-5}	CL
氯化鉛	PbCl ₂	18°C -25°C	1.7×10^{-5}	P
氫氧化鈣	Ca(OH) ₂	18°C -25°C	8×10^{-6}	P

※資料來源：L=Lange's 10th ed.; C=CRC 44th ed.; P=General Chemistry by Pauling, 1970 ed

2. 實驗測量



3. 分析討論

【結果討論】：

1. 碳酸鎂溶液的遮光能力(乳光效應)隨著溫度上升而有緩慢持續增加的趨勢。
2. 氯化鉛溶液的遮光能力(乳光效應)在溫度 20°C~30°C 之間並無顯著變化，而在 30°C 之後，隨著溫度上升而有明顯持續增加的變化。
3. 氫氧化鈣溶液的遮光能力(乳光效應)隨著溫度上升而有明顯持續增加的趨勢。

綜合以上的實驗結果分析，三項挑選的溶液膠體乳光效應與溫度之關係變化，皆與採水樣品的實驗結果不相符合，因此；可再次驗證與採水樣品的變化相符合的硫酸鈣膠體溶液，確實極有可能為牛奶河的成因之一。

三、依據報導資料及實驗結果與官方氣象數據分析對照比較，探討硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與環境因子之關係。

本研究查詢中央氣象局全球資訊網 <https://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm> 以事件報導日期 107 年 3 月 21 日前後 5 天高雄測站(467440)的月報表 (monthly data)觀測結果統計如表 5-3-1：

【表 5-3-1：高雄氣象資料於事件報導日期 107/3/21 前後 5 天氣象統計分析表】

觀測日期	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25	3/26
日均溫°C	23.8	24.1	25.5	24.8	21.1	20.1	20.2	22.1	22.9	23.2
最高溫°C	27.6	27.0	29.2	29.2	25.0	24.0	25.7	26.9	27.3	26.8
最低溫°C	20.8	21.2	21.5	21.1	18.2	15.6	18.1	18.3	16.0	20.1
降水量 mm	0.0	0.0	0.0	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

綜合本研究檢測硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與相關變因之探討實驗結果，比對分析統計表 5-3-1，可歸納整理下列幾項發生牛奶河現象的有關成因：

- (一) 事件報導日期 107/3/21 前後 5 天溫度變化，最明顯的為前二天 3/19 與 3/20 的最低溫與最高溫差約為 21°C~29°C，與探討實驗分析結果：硫酸鈣溶液溶解度於 20°C~30°C 的變化最為明顯相符合。
- (二) 事件報導日期 107/3/21 前兩天的最高溫為 29.2°C 的紀錄，其與探討實驗分析結果：硫酸鈣溶液於約 30°C 左右時，乳光效應最為明顯相符合。
- (三) 事件報導日期 107/3/21 的前一天 3/20 突然發生降水 15.5mm，而之前均未有降水，另外；查詢高雄市政府環境保護局河川水質監測資料(如圖 5-3-1)，107 年 3 月愛河的水質監測資料，因事件地點明誠橋介於官方採樣地點「民族橋」(上游)與「龍心橋」(下游)之間，故以兩橋的水質資料統計結果如表 5-3-2，整理發現上游水質的導電度(溶質多且複雜)較高、懸浮固體也較多，且汙染程度更為嚴重，故推測因突然降水，將上游汙染物質大量溶解並沖往位於相對下游的事件發生地點，使得成為發生牛奶河現象的有關成因之一。



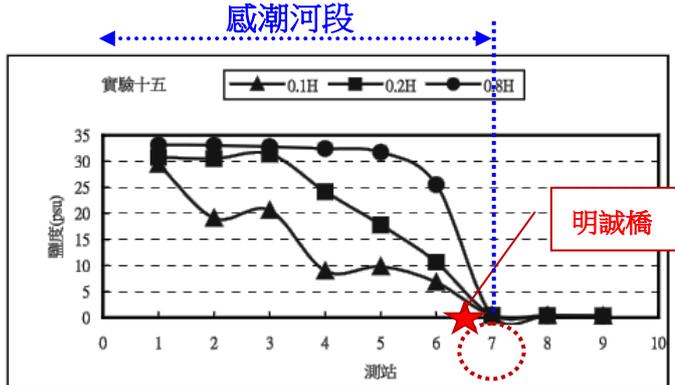
【圖 5-3-1：高雄市政府環境保護局河川水質監測網】
 資料來源：<https://ksenlab.ksepb.gov.tw/kh-taqm/zh-tw/WaterData.aspx>

【表 5-3-2：變色河段上游及下游測站於 107 年 3 月水質分析統計表】

橋名	導電度 μ mho/cm	懸浮固體 mg/L	汙染指數 RPI
民族橋(上游)	高 843	高 21.9	高 7.3(嚴重汙染)
龍心橋(下游)	208	16.0	5.8(中度汙染)

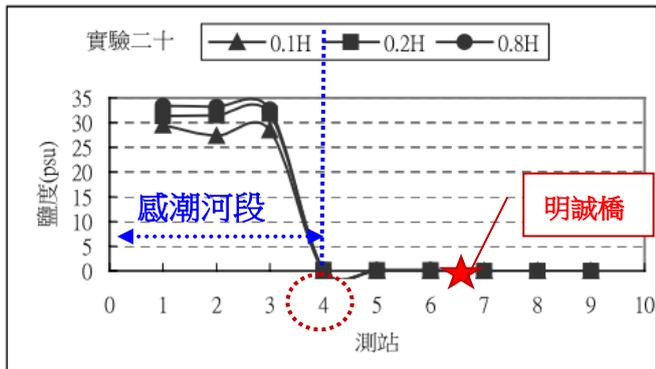
四、依據報導資料及實驗結果，並與官方潮汐數據分析對照比較，探討變色河段牛奶河成因與海水漲退潮之關係。

本研究由國立中山大學海洋資源研究所愛河之水文研究論文(曾若玄、蔡致維 93.09)資料分析(如圖 5-4-1a、5-4-1b)，由鹽度結果顯示，當治平截流站開啟時，愛河的感潮段會到達龍華橋和鼎新橋之間，因此；配合研究測站地圖(如圖 5-4-1c)的河段區域標示，變色河段(明誠橋)當治平截流站開啟時則屬於感潮河段，其河水將受到海水潮汐及海水中鹽類之影響。



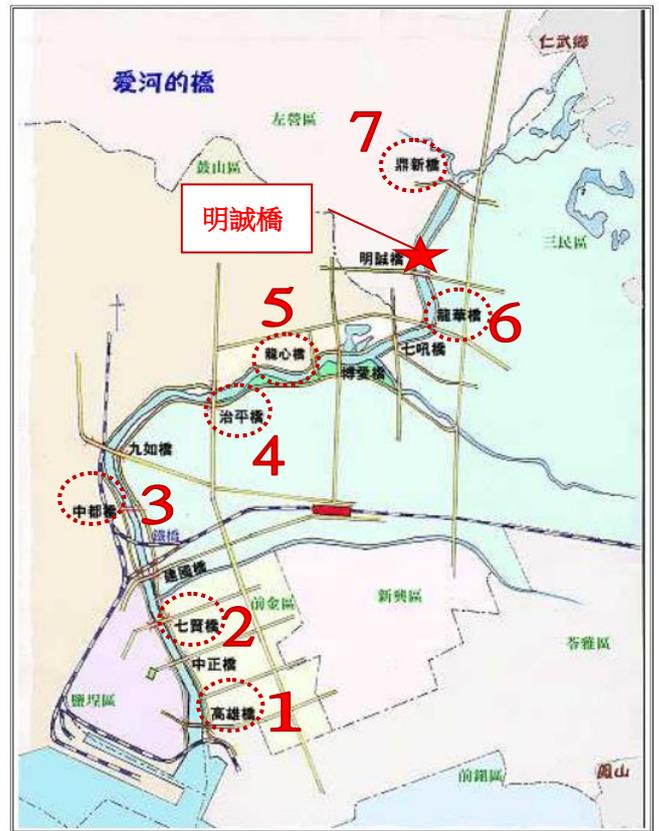
【圖 5-4-1a：治平截流站開啟時，各測站鹽度圖】

資料來源：愛河之水文研究論文(曾若玄、蔡致維 93.09)



【圖 5-4-1b：治平截流站關閉時，各測站鹽度圖】

資料來源：愛河之水文研究論文(曾若玄、蔡致維 93.09)



【圖 5-4-1c：研究測站分布圖】

資料來源：愛河之水文研究論文(曾若玄、蔡致維 93.09) <http://163.28.10.78/content/local/kaushoun/minchen/love/map/dd.htm>

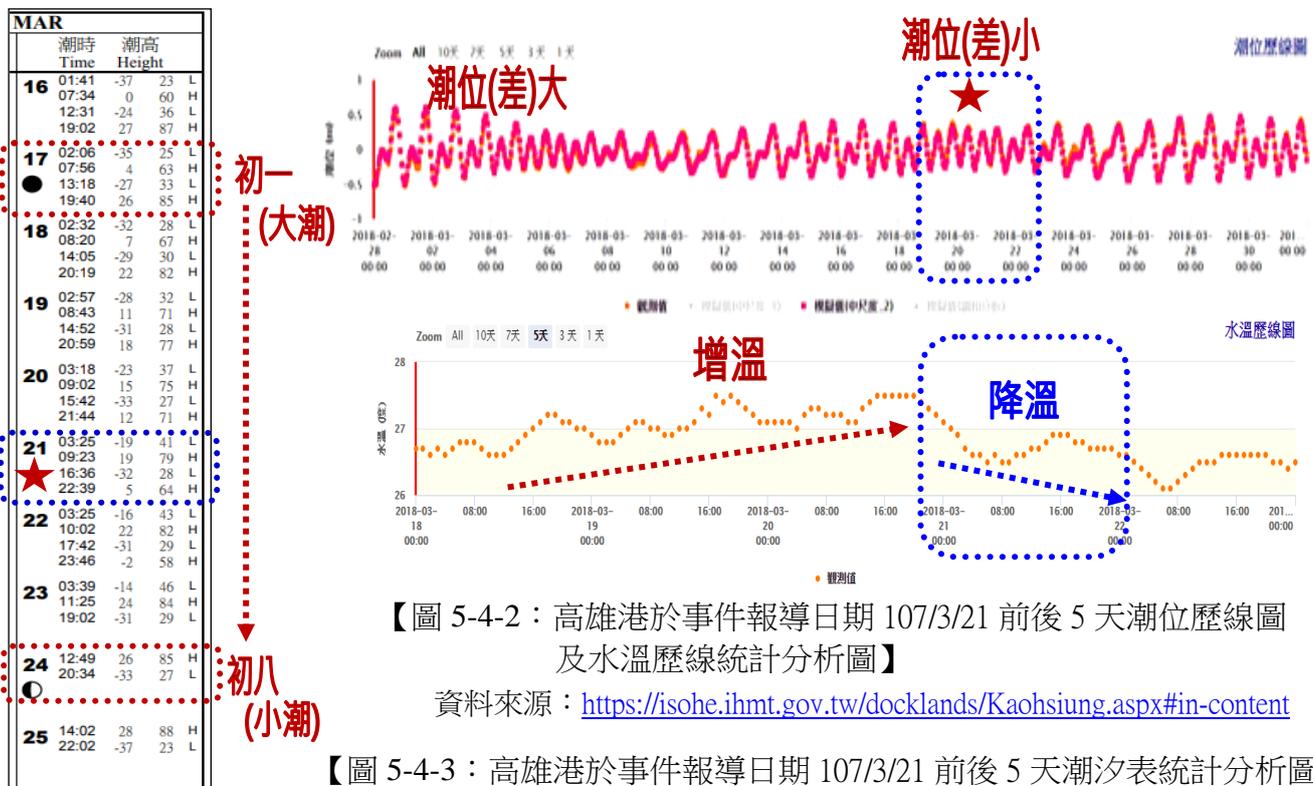
此外；本研究查詢臺灣環境資訊網監測 107 年 3 月高雄港的潮位監測資料分析(如圖

5-4-2)，比對潮位歷線圖、水溫歷線圖，另由交通部中央氣象局 107 年(Tide Tables 2018 年刊第 21 期)P85 的潮汐表資料統計結果分析(如圖 5-4-3)，可歸納整理下列幾項相關成因：

- (一) 變色河段(明誠橋)當治平截流站開啟時則屬於感潮河段，其河水將受到海水潮汐的影響，亦即表示河水中的溶質溶解情形將可能受到海水中鹽類(氯化鈉等電解質)之影響，然而；由圖 5-4-1a 可知，變色河段之鹽度相對其他河段偏低，比對文獻「硫酸鈣易溶於海水」，可證實當時的河水有利於硫酸鈣形成膠體溶液，而中下游因鹽度高，反而不利於硫酸鈣形成膠體溶液，也因此；愛河的中下游並無出現牛奶河的現象。

(二) 事件報導日期 107/3/21 恰好介於初一(大潮發生)與初八(小潮發生)之間，期間並無特殊潮汐變化發生，另由高雄港潮位歷線圖分析，由一個月潮位圖來看，在 3/21 的潮位變化相對於 2/28 與 3/28 等時段變化較小，因此推測事件發生當日，位於上游的變色河段(明誠橋)發生牛奶河的原因與潮位變化無明顯關係，並且可推測變色原因亦與隨著潮位變化而影響河水表層流速亦無明顯關係。

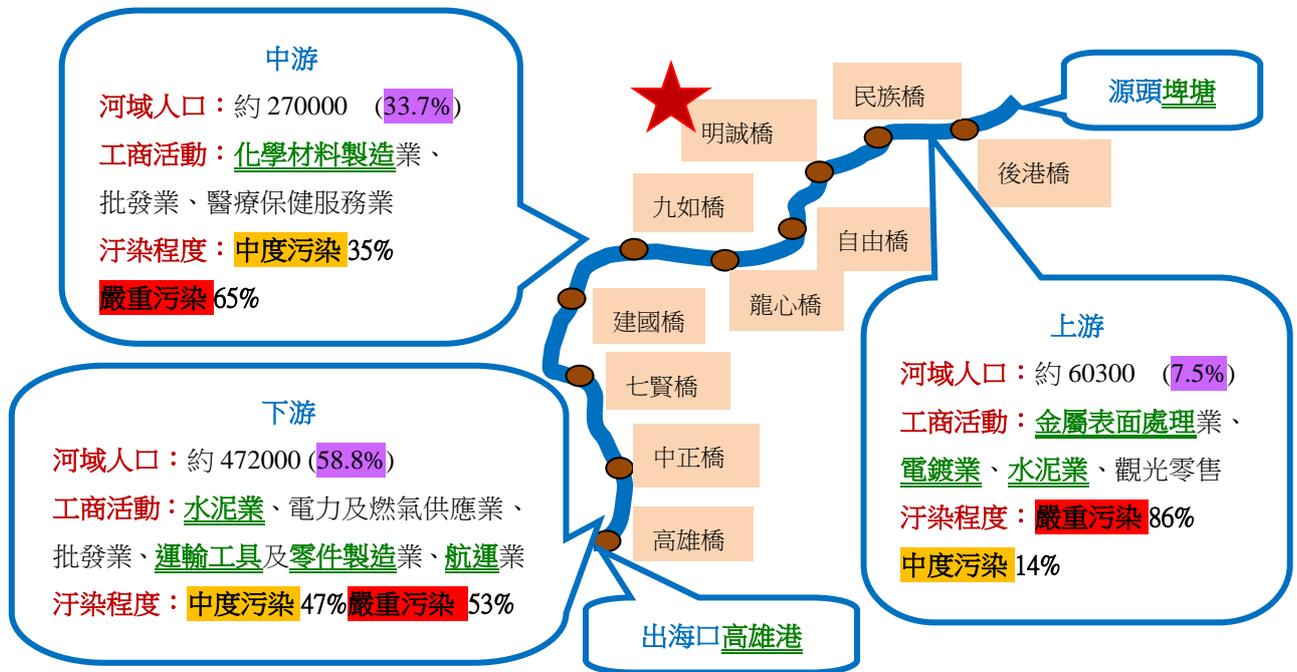
(三) 由報導日期 107/3/21 左右幾天的高雄港水溫歷線圖分析，其相比對於前後幾天，其溫度有明顯變化(增溫後突然降溫)，綜合以上幾點分析，牛奶河的發生主要原因，推測與變色河段(明誠橋)於報導日期 107/3/21 前後的水溫變化較有明顯關係。



陸、結論

一、探討愛河變色河段的水源、流域、人類活動與污染情形，並分析新聞報導之相關變因總結歸納以下幾點：

(一) 針對愛河變色流域污染情形與人類活動(住家、工業、商業、港口)之關係，經由文獻資料分析整理發現變色河段(明誠橋)位於中上游河段(自由橋與後港橋間)，污染情況則屬於中度至嚴重污染，上游人口數雖較少，然而事業廢水(如：水泥業及電鍍業..等)匯入影響，水質明顯較下游河段(龍心橋與高雄橋間)惡化，其分析結果如下圖 6-1-1 所示。

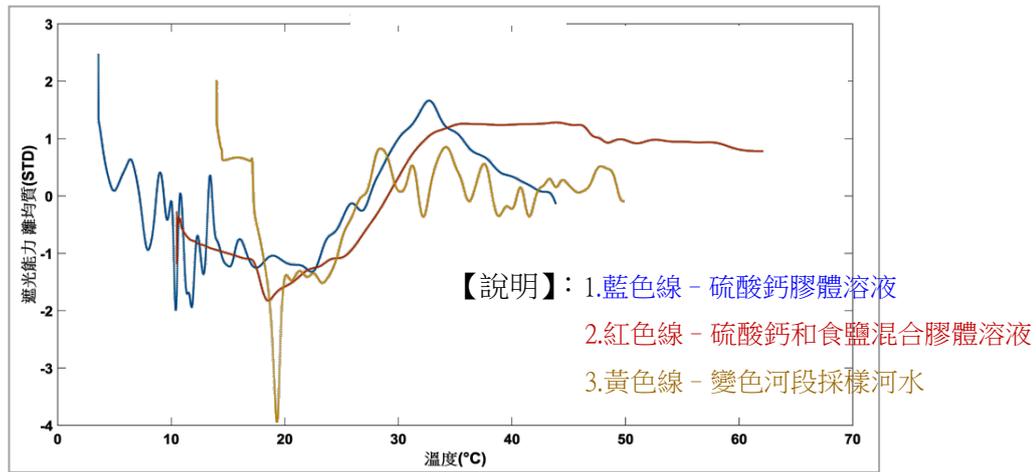


【圖 6-1-1：愛河流域民生汙水、事業廢水與汙染程度統計分析圖】

(二) 分析新聞報導之內容資料，整理可分析歸納：河段地理位置、區域環境(有無過多硫酸根離子與鈣離子)、當時季節氣候(溫度)及海(鹽度、漲退潮)與硫酸鈣 (CaSO_4) 形成膠體造成的乳光效應為變色河段發生牛奶河的相關變因。

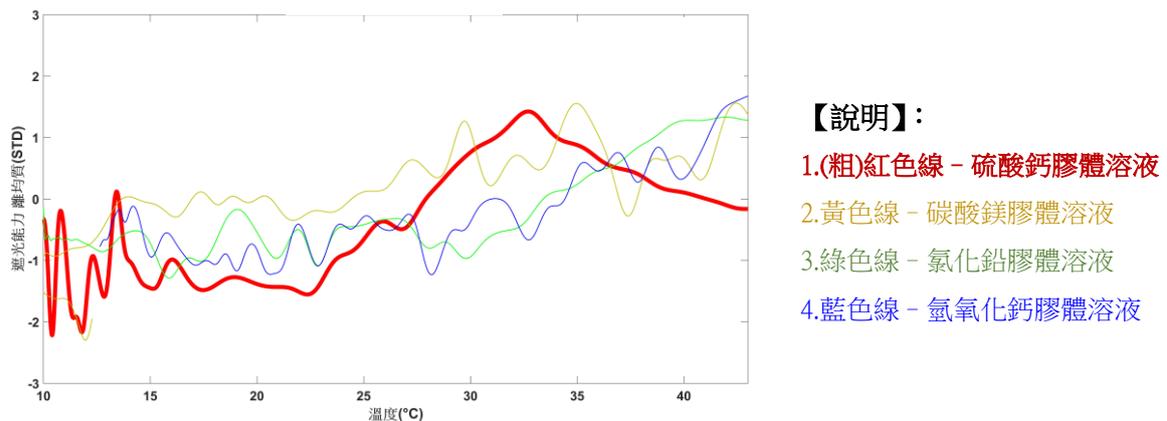
二、結合 Arduino 與 LabVIEW 程式，設計實驗裝置檢測硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與相關變因之探討，其總結歸納以下幾點：

- (一) 硫酸鈣溶液的溶解度隨著溫度上升($10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$)有先增後降的趨勢，其中 $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 的變化最為明顯，且約為 30°C 左右時的溶解度降至最小。另外；硫酸鈣溶液的乳光效應明顯受到其溶解度降低(硫酸鈣沉澱量增加)的影響，同樣隨著溫度上升($15^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$)皆有先增後降的趨勢，並於 $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 的變化最為明顯，且約於 30°C 左右，達到最大值。
- (二) 硫酸鈣與食鹽水混合溶液，其乳光效應最明顯同時出現的溫度約 30°C ，且 $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 的變化仍最為明顯，此外；受到溶液中氯化鈉解離的影響，溶解度變化約為僅含硫酸鈣的水溶液變化之 $1/300$ ，由此可證明：硫酸鈣的溶解度的確受到海水(鹽度)的影響，其與文獻資料「硫酸鈣易溶於海水」的現象符合，亦可顯示本研究實驗設計具有相當的靈敏與可信度。
- (三) 採水樣品的溶質(電解質)可能眾多複雜(測量電阻值相對小很多)，其導電度變化明顯不大，其遮光能力(乳光效應)於 $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 的變化較大，且約為 30°C 時的乳光效應最為明顯。且其與硫酸鈣溶液或硫酸鈣與食鹽水混合溶液的乳光效應變化相似，皆於 30°C 左右有一相對峰值，如圖 6-2-1 所示，期間較容易產生硫酸鈣膠體，使得乳光效應較強。故可推測牛奶河確實可能是河水中的硫酸鈣受溫度變化影響，因而沉澱形成膠體所產生的現象。



【圖 6-2-1：三項溶液遮光能力離均值(幾倍標準差)與溫度關係圖】

(四) 本研究調查全國水質監測針對愛河測量的各項常見鹽類及金屬離子，挑選出三項溶度積(Ksp)與硫酸鈣相近，且固態亦呈白色的化合物(碳酸鎂、氯化鉛及氫氧化鈣)進行實驗測量各別溶液膠體乳光效應與溫度之關係變化，其結果皆與硫酸鈣膠體的實驗結果不相符合，如圖 6-2-2 所示，因此；可再次驗證與採水樣品的變化符合的硫酸鈣膠體溶液，其確實極有可能為牛奶河的成因之一。



【圖 6-2-2：四項膠體溶液遮光能力離均值(幾倍標準差)與溫度關係圖】

三、實地踏查變色河段區域，綜合報導資料、實驗結果與大氣水文數據比對，進行分析與歸納，探討牛奶河之實際成因，其總結歸納以下幾點：

- (一) 事件報導日期 107/3/21 前後 5 天溫度變化，最明顯的為前一天 3/20 的最低溫與最高溫約為 21.2°C~29.2°C，其與實驗分析結果：溶解度於 20°C~30°C 的變化最為明顯相吻合。且前兩天的最高溫紀錄為 29.2°C，亦與實驗分析結果：硫酸鈣溶液及硫酸鈣與食鹽水混合溶液皆於約 30°C 左右時，產生乳光效應最為明顯相符合。
- (二) 事件報導日期 107/3/21 的前一天 3/20 突然發生降水 15.5mm，而之前均未降水，且上游水質的導電度較高(溶質多且複雜)、懸浮固體也較多，汙染程度更為嚴重，故推測突然降水，

將上游汙染物質大量溶解並沖往中下游的事件地點，亦成為牛奶河現象的有關成因之一。

(三) 本研究調查事件發生當月份全國水質監測針對愛河各測站測量河水 Ph 值及氯鹽含量，綜合整理發現上、中及下游的河水大致均呈弱鹼性，變色河段大約在 Ph7.7~Ph7.9 間，變色河段氯鹽含量偏低，如下表 6-3-1，比對文獻「硫酸鈣易溶於酸性溶液及海水」，可證實當時呈弱鹼性，且海水鹽度(氯鹽)偏低的河水，有利於硫酸鈣形成膠體溶液。

【表 6-3-1：愛河各測站於 107 年 3 月水質 Ph 值統計表】

測站	後港橋	民族橋	★ 龍心橋	九如橋	七賢橋	高雄橋
Ph 值	7.8	7.7	明誠橋 7.9	7.6	7.8	8.1
氯鹽 mg/L	26.5	34.5	6670	12600	11900	11700

(四) 變色河段(明誠橋)當治平截流站開啟時則屬於感潮河段，事件報導日期 107/3/21 恰好介於初一(大潮發生)與初八(小潮發生)之間，並由潮位歷線圖分析，變色河段(明誠橋)變色與潮位變化並無明顯關係，並且可推測，因潮位可能造成河水表層流速變化亦無明顯關係。此外；由水溫歷線圖分析，相比對於事件報導日期前後幾天，其海水溫度有明顯變化(增溫後突然降溫)，推測應為牛奶河發生的另一個可能影響原因。

柒、建議與延伸

經由本研究結果，建議可利用漲潮時，在上游處引進大量海水，可作為防治牛奶河的發生，並於後續延伸研究，探討愛河河水中硫酸鈣的主要來源，以作為相關汙染佐證與防治措施之參考。此外；本研究礙於時間及實驗器材限制，主要以新聞報導分析歸納之各項研究變因作為研究探討項目，然而；牛奶河的成因推測仍存在許多影響變因，如：河水中膠體的種類與性質、河水的表層的流速、河道的深度及不同河段(上、中、下游)水質性質及汙染物質..等等，建議未來可進行更廣泛且更深入的探究。

捌、參考資料

1. 第五冊 自然與生活科技課本 第五章 水的分布與水資源，南一出版，P150~155
2. 環境變遷對於高雄愛河流域水環境汙染之影響陳建中、張乃斌、顏宏愷高雄第一科技大學第十四屆環境規劃與管理研討會, 2001
3. 宋心琦、王晶等. 化學（必修一）人民教育出版社 :P 26 - 29.（中國大陸）
4. 物理雙月刊（廿三卷四期）2001 年 8 月 P482-P487。
5. 中央氣象局全球資訊網 <https://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
6. 港灣環境資訊網 <https://isohe.ihmt.gov.tw/docklands/Kaohsiung.aspx#in-content>
7. 交通部中央氣象局 107 年潮汐表(Tide Tables 2018 年刊第 21 期)P85
8. 高雄市政府環境水體監測資料網 <https://data.kcg.gov.tw/dataset/107river-water-quality>

【評語】 030507

研究主體清楚聚焦，有高度鄉土相關性。有系統地收集數據及分析。海報資料具邏輯性，清晰圖表及圖例。團體作品所有作者對於作品都理解且有貢獻。

該作品自製儀器量度硫酸鈣膠體光效應解釋牛奶河。利用自行研製的實驗裝置加入 Arduino、感測器和 LabVIEW 虛擬儀表來進行實驗確認檢測硫酸鈣膠體的濃度變化與影響因子間的關係，再測量採水樣品與影響因子間的關係作為推論依據。

該團隊實地採集河水標本進行檢測，在參酌相關的環境及水文的資料，對愛河發生牛奶河事件的新聞做分析探討，解釋可能的原因。整個研究過程完整、清楚，題材有趣也引人注意，相當可取。該團隊能自己電路板來進行硫酸鈣量測，實驗手法具挑戰性，有創新性。研究結果的詮釋，也參酌官方中央氣象局氣象和潮汐資料以及環保局的水質監測資料，嘗試釐清不同變因的影響，尤其是人類活動對河流的汙染以及自然界(潮汐、氣溫、降雨等)的調解作用。此作品結合實驗室和戶外採樣進行相互驗證，符合科學探究精神。

該作品歸納可能的變因，再逐步檢視各變因在此個案中的影響，最後推論出降雨為可能的因素。整體推論過程令人耳目一新。顯示該團隊對此議題的背景了解透徹。

這種現象有時空的限制，不常發生，在環境污染的實用性較低。例如，雖然降雨和污染源似乎可能是會同時出現，但尚未找到類似的事件支持結果，較為可惜。

摘要

2018/03/21新聞報導高雄市三民區明誠橋的愛河變成了牛奶河，引發官方「自然現象」與民眾「工業污染」的爭論。本研究分析相關報導內容及文獻資料，針對硫酸鈣溶液的溶解度(沉澱)、鹽水、膠體溶液、乳光效應與溫度之關係，運用Arduino電路板及電子元件設計實驗裝置，編寫軟體程式計算訊號資料，另實地踏查變色河段，採集河水進行檢測，彙整變色河段工業污染情形，比對實驗結果與大氣水文數據。研究結果顯示牛奶河屬感潮河段，成因與河水中的硫酸鈣、海水(鹽度)及膠體溶液有明顯關係，而突然降水帶來污染物(懸浮物)增加，以及環境溫度突然變化(20°C至30°C硫酸鈣溶液乳光效應變化最為明顯)是主要影響成因，此外；研究分析發現河水變色與潮汐變化無明顯關係。

壹、研究動機

近期愛河變色的新聞報導，大多內容都提到：「人為的工廠污染或藻類繁殖的自然現象...等。」其中，我對於愛河呈現乳白的牛奶色這則新聞報到特別感興趣。根據報導內容提到：「環保局表示是自然硫酸鈣沉澱導致乳光效應，不是污染。」然而；我卻很好奇：「硫酸鈣從何而來？為什麼會有大量的硫酸鈣會沉澱在此處？是什麼情形導致硫酸鈣沉澱？硫酸鈣沉澱導致乳光效應真的會使愛河變成牛奶顏色？又或是其他的因素造成呢？」因此；我找幾位也感興趣的社團同學一起研究探討愛河變成牛奶河的影響因素，以提供明確可靠的牛奶河成因。

貳、研究目的

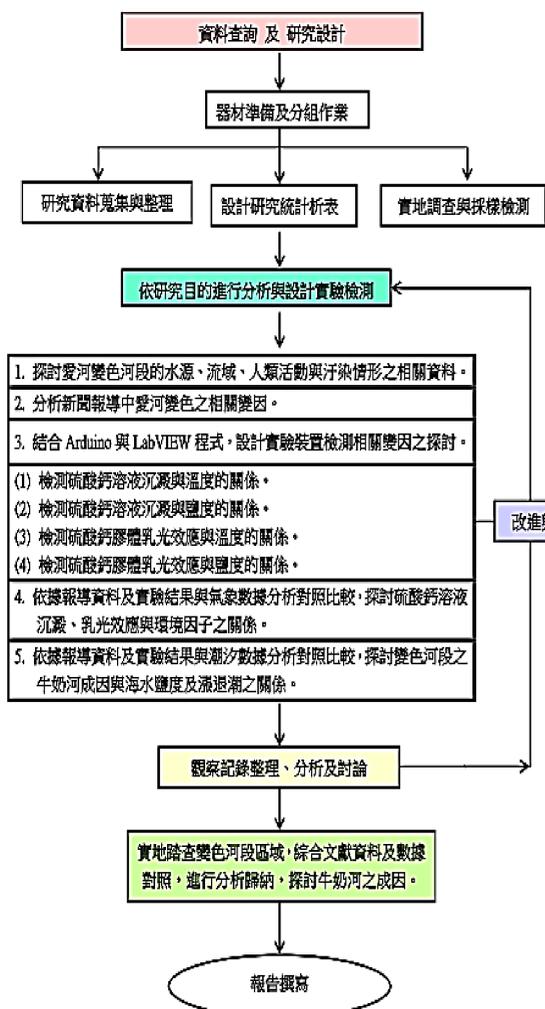
- 一、探討愛河變色河段的水源、流域、人類活動與污染情形，並分析新聞報導之相關變因。
- 二、結合Arduino與LabVIEW程式，設計實驗裝置檢測硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與相關變因之探討。
- 三、依據報導資料及實驗結果與官方氣象數據分析對照比較，探討硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與環境因子之關係。
- 四、依據報導資料及實驗結果與官方潮汐數據分析對照比較，探討變色河段之牛奶河成因與海水(鹽度)及漲退潮之關係。
- 五、實地踏查變色河段區域，綜合報導及文獻資料、實驗結果與大氣水文數據比對，進行分析與歸納，探討牛奶河之成因。

參、研究設備及器材

筆記型電腦	Arduino 電路板	光敏電阻、熱敏電阻與導電度測量電極	杜邦線 (公線與母線)	石英加熱棒	麵包板與1000Ω電阻	硫酸鈣 CaSO ₄	(寒天) 洋菜粉	食鹽 NaCl	碳酸鎂 MgCO ₃	氯化鉛 PbCl ₂	氫氧化鈣 Ca(OH) ₂

肆、研究過程或方法

一、研究架構流程



二、文獻探討

(一) 硫酸鈣(CaSO₄)

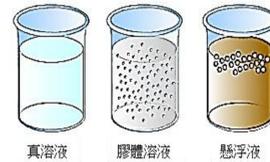
白色單斜結晶或結晶性粉末，無氣味，有吸濕性，且有刺激性，通常含有2個結晶水，自然界中以石膏礦形式存在，其為製造水泥的原料。硫酸鈣僅微溶於水，容易形成沉澱，其溶解度與溫度關係呈特殊的先升高後降低情形，另外；其能溶於酸、銨鹽溶液和海水。

(二) 膠體 (colloidal dispersion) 溶液

溶液分類法有好幾種，其中依溶質粒子的大小可分為真溶液、膠體溶液、懸浮液三種(如圖4-2-4)，膠體溶液的溶質粒子多為高分子、帶電粒子團等，粒子均勻分散在溶液中不會沉澱，直徑在1~100nm，例如：咖啡、牛奶，具有廷得耳效應、布朗運動。

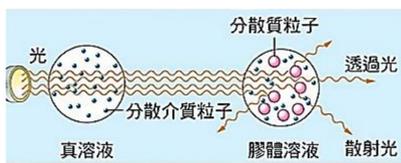
(三) 乳光效應(廷得耳效應Tyndall effect)

當一束光線透過膠體，從入射光的垂直方向可以觀察到膠體裡出現的一條光亮的「通路」，其原理是光被懸浮的膠體粒子(例如：乳劑、混懸劑)散射，其現象產生示意如下(圖4-2-5及圖4-2-6)。



【圖4-2-4：三大溶液分類圖】

※圖片來源：<https://medium.com/@jstiedukasi/pengertian-jenis-sifat-sifat-koloid-terlengkap-7741316e1a>



【圖4-2-5：廷得耳現象的產生機制示意圖】

※圖片來源：<https://slidesplayer.com/slide/11301877/>



【圖4-2-6：廷得耳現象的實驗觀測圖】



【圖4-2-8：LabVIEW 虛擬儀表圖】

【圖4-2-7：Arduino 電路板圖】

(四) Arduino電路板與LabVIEW

電路板配有一組數字和類比I/O引腳，可以連接感測器及各種電子元件(如：紅外線、超音波、熱敏電阻、光敏電阻、伺服馬達...等)；並經由硬體的設計檔，針對符合自己實際設計的需求，進行調整電路板及元件，(如圖4-2-7)。LabVIEW(實驗室虛擬儀器工程平台)，引入了特別的虛擬儀表(如圖4-2-8)的概念，目前廣泛的被應用於工業自動化之領域上。

三、新聞資料分析

搜尋「愛河變牛奶河」之相關新聞報導，進行事件內容資料整理，並分析，歸納相關之研究變因如下：

1. 新聞標題：「高雄愛河變"牛奶河" 元兇抓到竟是它」
2. 報導時間：2018/03/21
3. 事件地點：高雄市三民區明誠橋
4. 新聞報導來源：華視新聞(黃育仁 綜合報導/高雄市)
<https://news.cts.com.tw/cts/life/201803/201803221918170.html>

報導內容(資料整理)	研究變因(分析歸納)
(1) 愛河在季節變換時常有變色狀況。	季節氣候(溫度、雨量)
(2) 本事件多發生於明誠橋河段(如圖4-3-1)	河段地理位置及區域環境
(3) 本事件主因是該河段沉積物因溫度升高、降低、海水漲退潮等環境因素，再度由沉積物變為膠體，使得水色呈白濁。	1. 沉積物隨溫度變化的溶解度(沉澱) 2. 海水漲退潮 3. 沉積物形成的白色膠體
(4) 高市府環保局表示經環保署檢驗所採檢分析，河道中乳白色成分是硫酸鈣(CaSO ₄)，此事件為自然環境與河道沉積物特性等因素產生的自然現象，不是污染事件。	1. 硫酸鈣(CaSO ₄)白色沉積物特性 2. 自然環境與河道沉積物特性 3. 自然現象

河水中乳白色成分，經鑑定發現是水中過多硫酸根離子與鈣離子	1. 河水中有過多硫酸根離子與鈣離子
(5) 在高溫環境下產生硫酸鈣膠體，因光線散色產生乳光效應，導致河水看來呈乳白色。	2. 高溫環境產生硫酸鈣膠體 3. 硫酸鈣膠體造成乳光效應
專家表示質疑：「理論上海水中確實有較多的硫酸根與鈣離子，受到高溫變得不易溶解而形成硫酸鈣，但是；結論須對照河水採檢時實際溫度與溶解度，並比對愛河感潮帶範圍，由實際檢驗報告才能評斷說法是否為真」。	1. 海水中有較多的硫酸根與鈣離子 2. 河水當時實際溫度與溶解度 3. 愛河的感潮帶範圍
(6)	



【圖4-3-1：愛河變牛奶河新聞照片】

※圖片來源：<https://news.cts.com.tw/cts/life/201803/201803221918170.html>

※(推測)其它可能的影響變因

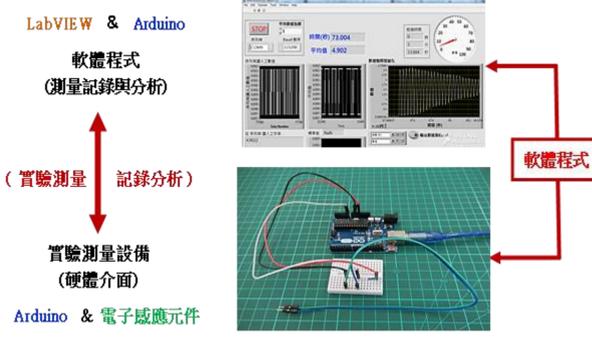
- (1) 河水中其他固態呈白色且Ksp(溶度積)與硫酸鈣相近的化合物。
- (2) 河水中膠體的種類與性質。
- (3) 河水的酸鹼PH值。
- (3) 河水的表層的流速。
- (5) 河道的深度。

本研究以新聞報導分析歸納之各項研究變因為主要研究探討項目。

四、實驗裝置與程式設計

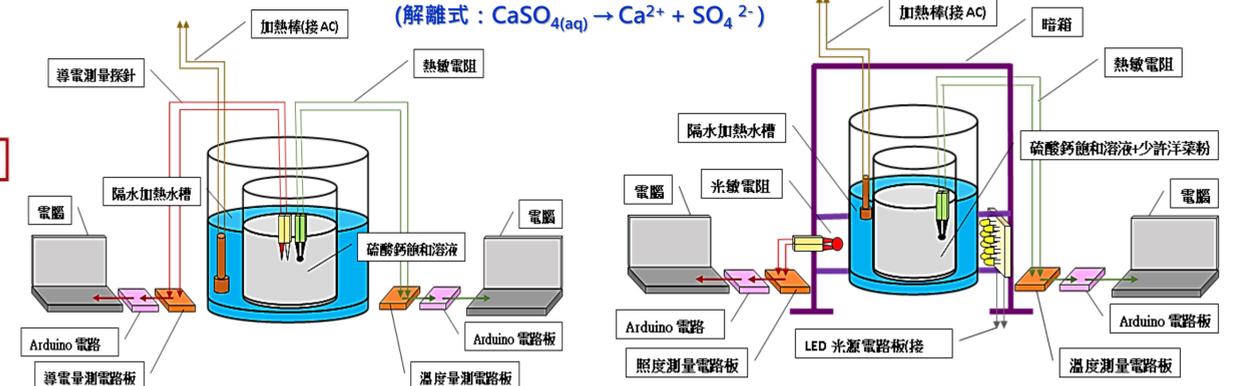
本研究運用Arduino電路板連結電子感測元件，結合LabVIEW程式平台，針對探討研究變因的實驗裝置、量測電路與軟體程式之相關設計，說明如下：

(一) 實驗設計概念(如圖4-4-1)



【圖 4-4-1: 實驗設計概念圖】

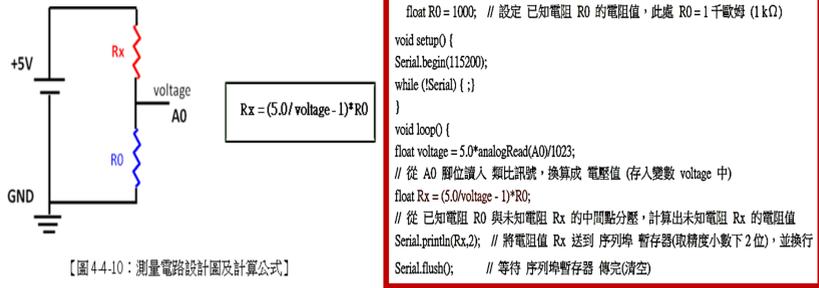
(二) 實驗裝置設計(如圖4-4-2、圖4-4-5、圖4-4-8及圖4-4-9)



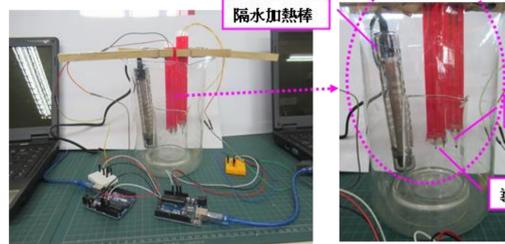
【圖 4-4-2: 硫酸鈣溶液溶解度(沉澱)與溫度實驗裝置圖】

【圖 4-4-5: 硫酸鈣膠體乳光效應與溫度實驗裝置圖】

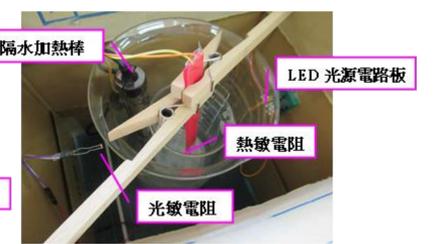
(三) 量測電路與軟體程式設計(如圖4-4-10)



【圖 4-4-10: 量測電路設計圖及計算公式】

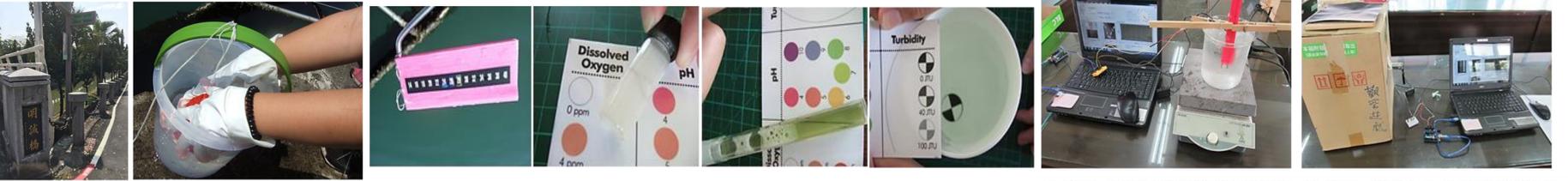


【圖 4-4-8: 測量溶解度(沉澱)與溫度實驗裝置圖】



【圖 4-4-9: 乳光效應及溫度之關係實驗裝置圖】

五、實地踏查變色河段區域進行採樣及檢測(如圖4-5-1、圖4-5-2、圖4-5-3及圖4-5-4)



【圖 4-5-1: 變色河段「明誠橋」踏查及採樣】

【圖 4-5-2: 變色河段「明誠橋」採樣河水以 MMWD 檢測圖】

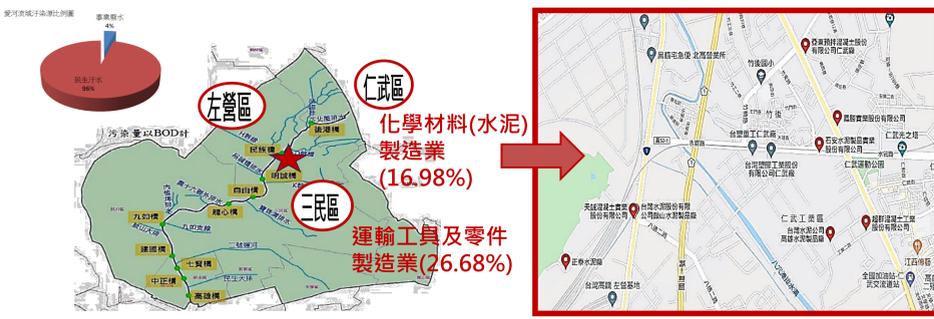
【圖 4-5-3: 採樣河水溶解度與溫度檢測實驗】

【圖 4-5-4: 採樣河水乳光效應與溫度檢測實驗】

伍、研究結果與討論

一、探討愛河變色河段的水源、流域、人類活動與汙染情形，並分析新聞報導之相關變因

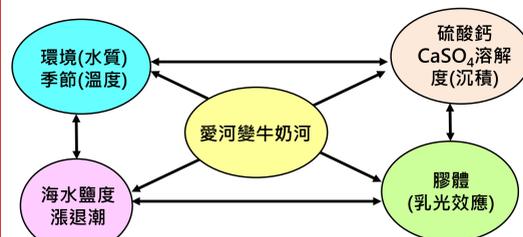
(一) 愛河變色河段(明誠橋)的流域、人類活動與汙染情形(如圖5-1-1、圖5-1-2)



【圖 5-1-1: 愛河流域主要的汙染源流域與比例圖】

【圖 5-1-2: 仁武區域的水泥廠分布google地圖】

(二) 愛河變色河段(明誠橋)之研究相關變因(如圖5-1-3)



【圖 5-1-3: 研究變因概念圖】

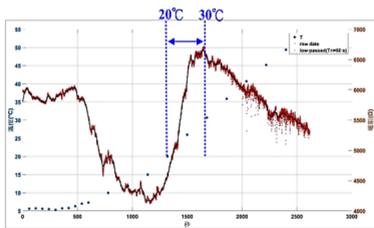
(七) 愛河常見溶度積(Ksp)與硫酸鈣相且白色化合物膠體乳光效應與溫度之關係(如圖5-2-8、圖5-2-9及圖5-2-10)

【表 5-2-2: 溶度積(Ksp)與硫酸鈣相近的實驗測量化合物之溶度積(Ksp)統計表】

溶度積表				
化合物	化學式	溫度	K _{sp}	來源
硫酸鈣	CaSO ₄	25°C	4.93x10 ⁻⁵	C L
碳酸鎂	MgCO ₃	12°C	2.6x10 ⁻⁶	C L
氯化鉛	PbCl ₂	18°C-25°C	1.7x10 ⁻⁵	P
氫氧化鈣	Ca(OH) ₂	18°C-25°C	8x10 ⁻⁶	P

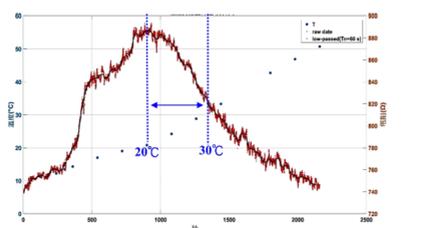
二、結合Arduino與LabVIEW程式，設計實驗裝置檢測硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與相關變因之探討

(一) 測量硫酸鈣溶液溶解度(沉澱)與溫度之關係(如圖5-2-1)



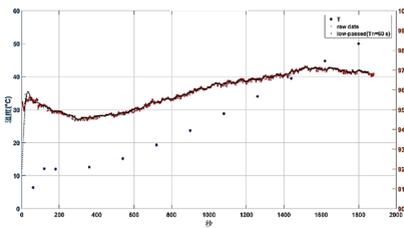
【圖 5-2-1: 硫酸鈣溶液導電度(溶解度)與溫度實驗結果關係圖】

(三) 測量硫酸鈣與食鹽水混和溶液，鈣溶解度(沉澱)與溫度之關係(如圖5-2-3)



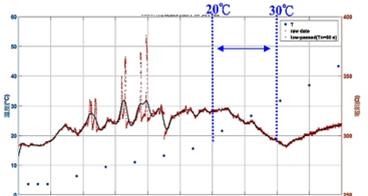
【圖 5-2-3: 硫酸鈣與食鹽水混和溶液導電度(溶解度)與溫度實驗結果關係圖】

(五) 測量採水樣品溶解度(沉澱)與溫度之關係(如圖5-2-6)



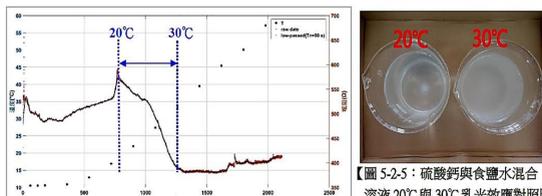
【圖 5-2-6: 採水樣品導電度(溶解度)與溫度實驗結果關係圖】

(二) 測量硫酸鈣膠體乳光效應與溫度之關係(如圖5-2-2)



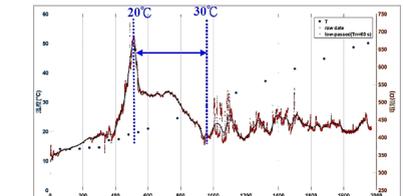
【圖 5-2-2: 硫酸鈣膠體乳光效應(電阻值)與溫度實驗結果關係圖】

(四) 測量硫酸鈣膠體與食鹽水混和溶液之乳光效應及溫度之關係(如圖5-2-4)

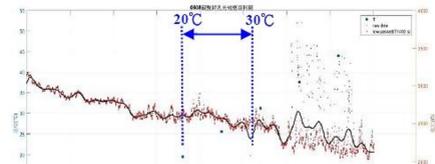


【圖 5-2-4: 硫酸鈣與食鹽水混和溶液 20°C 與 30°C 乳光效應對照圖】

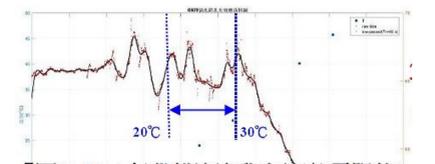
(六) 測量採水樣品之乳光效應及溫度之關係(如圖5-2-7)



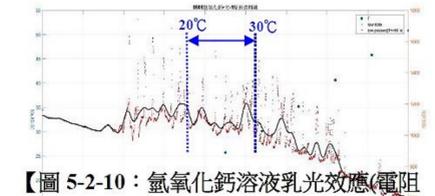
【圖 5-2-7: 採水樣品乳光效應(電阻值)與溫度實驗結果關係圖】



【圖 5-2-8: 碳酸鎂溶液乳光效應(電阻值)與溫度實驗結果關係圖】



【圖 5-2-9: 氯化鉛溶液乳光效應(電阻值)與溫度實驗結果關係圖】

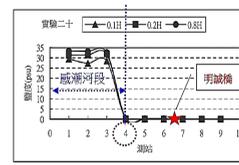


【圖 5-2-10: 氫氧化鈣溶液乳光效應(電阻值)與溫度實驗結果關係圖】

三、依據報導資料及實驗結果與官方氣象數據分析對照比較，探討硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與環境因子之關係

【表 5-3-1: 高雄氣象資料於事件報導日期 107/3/21 前後 5 天氣象統計分析表】

觀測日期	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25	3/26
日均溫°C	23.8	24.1	25.5	24.8	21.1	20.1	20.2	22.1	22.9	23.2
最高溫°C	27.6	27.0	29.2	29.2	25.0	24.0	25.7	26.9	27.3	26.8
最低溫°C	20.8	21.2	21.5	21.1	18.2	15.6	18.1	18.3	16.0	20.1
降水量 mm	0.0	0.0	0.0	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



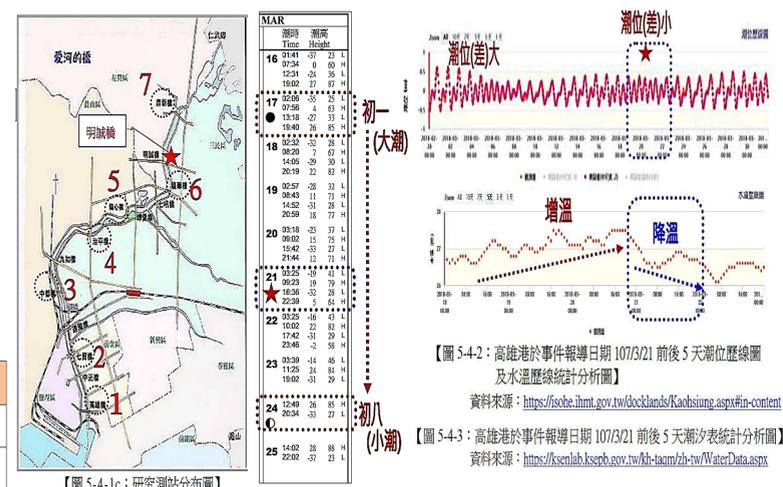
【圖 5-4-1a: 治平截流站關閉時，各測站鹽度圖】

【圖 5-4-1b: 愛河之水文研究論文(曾若玄、蔡致維 93.09)】

【表 5-3-2: 變色河段上游及下游測站於 107 年 3 月水質分析統計表】

橋名	導電度 μmho/cm	懸浮固體 mg/L	汙染指數 RPI
民族橋(上游)	高 843	高 21.9	高 7.3(嚴重汙染)
龍心橋(下游)	208	16.0	5.8(中度汙染)

四、依據報導資料及實驗結果，並與官方潮汐數據分析，對照比較探討變色河段牛奶河成因與海水漲退潮之關係(如圖5-4-1a、5-4-1b、圖5-4-1c、圖5-4-2、圖5-4-3)



【圖 5-4-2: 高雄港於事件報導日期 107/3/21 前後 5 天潮位歷線圖及水溫歷線統計分析圖】

【圖 5-4-3: 高雄港於事件報導日期 107/3/21 前後 5 天潮汐表統計分析圖】



【圖 5-3-1: 高雄市政府環境保護局河川水質監測網】

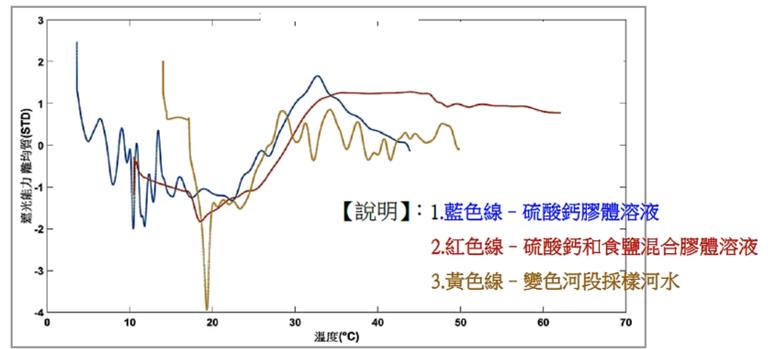
陸、結論

一、探討愛河變色河段的水源、流域、人類活動與汙染情形，並分析新聞報導之相關變因總結歸納如下：

- (一) 針對愛河變色流域汙染情形與人類活動(住家、工業、商業、港口)之關係，經由文獻資料分析整理發現變色河段(明誠橋)位於中上游河段(自由橋與後港橋間)，汙染情況則屬於中度至嚴重汙染，上游人口數雖較少，然而事業廢水(如：水泥業、金屬表面處理及電鍍業)匯入影響，水質明顯較下游河段(龍心橋與高雄橋間)惡化，其分析結果(如圖6-1-1)。
- (二) 分析新聞報導之內容資料，整理可分析歸納：河段地理位置、區域環境(有無過多硫酸根離子與鈣離子)、當時季節氣候(溫度)及海水(鹽度、漲退潮)與硫酸鈣(CaSO₄)形成膠體造成的乳光效應為變色河段發生牛奶河的相關變因。



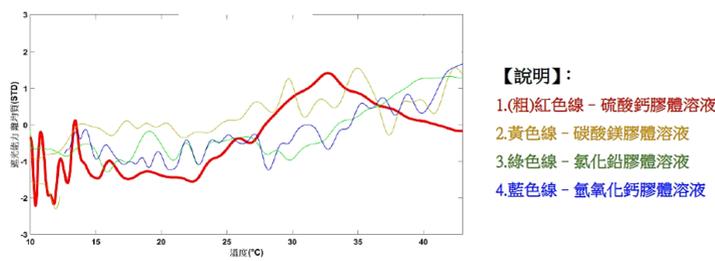
【圖 6-1-1：愛河流域民生汙水、事業廢水與汙染程度統計分析圖】



【圖 6-2-1：三項溶液遮光能力離均值(幾倍標準差)與溫度關係圖】

二、結合Arduino與LabVIEW程式，設計實驗裝置檢測硫酸鈣溶液沉澱、乳光效應與相關變因之探討，其總結歸納以下幾點：

- (一) 硫酸鈣溶液的溶解度隨著溫度上升(10°C~50°C)有先增後降的趨勢，其中20°C~30°C的變化最為明顯，且約為30°C時的溶解度降至最小。另外；硫酸鈣溶液的乳光效應明顯受到其溶解度降低(硫酸鈣沉澱量增加)的影響，同樣隨著溫度上升(15°C~45°C)皆有先增後降的趨勢，並於20°C~30°C的變化最為明顯，且約於30°C時，達到最大值。
- (二) 硫酸鈣與食鹽水混合溶液，其乳光效應最明顯同時出現的溫度約30°C，且20°C~30°C的變化仍最為明顯，此外；受到溶液中氯化鈉解離導電的影響，溶解度變化約為僅含硫酸鈣的水溶液變化之1/300，由此可證明：硫酸鈣的溶解度與溫度關係的確受到海水(鹽類)的影響，其與文獻資料「硫酸鈣較易溶於海水」的現象符合，亦可顯示本研究實驗設計具有相當的靈敏與可信度。
- (三) 採水樣品的溶質(電解質)可能眾多複雜(測量電阻值相對小很多)，其導電度變化明顯不大，其遮光能力(乳光效應)於20°C~30°C的變化較大，且約為30°C時的乳光效應最為明顯。且其與硫酸鈣溶液或硫酸鈣與食鹽水混合溶液的乳光效應變化相似，皆於30°C左右有一相對峰值，如圖6-2-1所示，期間較容易產生硫酸鈣膠體，使得乳光效應較強。故可推測牛奶河確實可能是河水中的硫酸鈣受到海水及溫度變化影響，形成膠體而產生的現象。
- (四) 本研究調查全國水質監測針對愛河測量的各項常見鹽類及金屬離子，挑選出三項溶度積(Ksp)與硫酸鈣相近，且固態亦呈白色的化合物(碳酸鎂、氯化鉛及氫氧化鈣)進行實驗測量各別溶液膠體乳光效應與溫度之關係變化，其結果皆與硫酸鈣膠體的實驗結果不相符合，如圖6-2-2所示，此外；核對事件當年度愛河上游地下水井水質統計圖，如圖6-2-3，地下水含大量硫酸鹽，均可再次驗證與採水樣品的變化符合的硫酸鈣膠體溶液，其確實極有可能為牛奶河的成因之一。



【圖 6-2-2：四項膠體溶液遮光能力離均值(幾倍標準差)與溫度關係圖】

愛河水源即是上游的灌溉水及雨水，以及工廠排放的事業廢水及家庭汙水

大樹國小測站/2018年第四季/地下水區 水質資訊	新莊國小測站/2018年第四季/地下水區 水質資訊
總硬度：174 mg/L	總硬度：438 mg/L
總溶解固體物：312 mg/L	總溶解固體物：802 mg/L
氯鹽：24.3 mg/L	氯鹽：135 mg/L
氫氣：<0.01 mg/L	氫氣：9.28 mg/L
硝酸鹽氮：8.02 mg/L	硝酸鹽氮：<0.01 mg/L
硫酸鹽：50.2 mg/L	硫酸鹽：98.8 mg/L
總有機碳：1.59 mg/L	總有機碳：3.58 mg/L

上游 中上游 (靠近變色河段)

【圖 6-2-3：2018愛河上游地下水井水質統計圖】

三、實地踏查變色河段區域，綜合報導資料、實驗結果與大氣水文數據比對，進行分析與歸納，探討牛奶河之實際成因，其總結歸納以下幾點：

- (一) 事件報導日期107/3/21前後5天溫度變化，最明顯的為前一天3/20的最低溫與最高溫約為21.2°C~29.2°C，其與實驗分析結果：溶解度於20°C~30°C的變化最為明顯相吻合。且前兩天的最高溫紀錄為29.2°C，亦與實驗分析結果：硫酸鈣溶液及硫酸鈣與食鹽水混合溶液皆於約30°C時，產生乳光效應最為明顯相符合。
- (二) 本研究調查事件發生當月份全國水質監測針對愛河各測站測量河水Ph值及氯鹽含量，綜合整理發現上、中及下游的河水大致均呈弱鹼性，變色河段大約在Ph7.7~Ph7.9間，變色河段氯鹽含量偏低，如下表 6-3-1，比對文獻「硫酸鈣易溶於酸性溶液及海水」，可證實當時呈弱鹼性，且海水鹽度(氯鹽)偏低的河水，有利於硫酸鈣形成膠體溶液。
- (三) 事件報導日期107/3/21的前一天3/20突然發生降水15.5mm，而之前均未降水，且上游水質的導電度較高(溶質多且複雜)、懸浮固體也較多，汙染程度更為嚴重，故推測突然適量降水，將上游汙染物質及空氣汙染粒子，如下表 6-3-2，大量溶解並沖往中上游的事件地點，亦成為牛奶河現象的有關成因之一。

【表 6-3-1：愛河各測站於 107 年 3 月水質 Ph 值統計表】

測站	後港橋	民族橋	龍心橋	九如橋	七賢橋	高雄橋
Ph 值	7.8	7.7	7.9	7.6	7.8	8.1
氯鹽 mg/L	26.5	34.5	6670	12600	11900	11700

- (四) 變色河段(明誠橋)當治平截流站開啟時則屬於感潮河段，事件報導日期107/3/21恰好介於初一(大潮發生)與初八(小潮發生)之間，並由潮位歷線圖分析，變色河段(明誠橋)變色與潮位變化並無明顯關係，並且可推測，事件當日因潮位可能造成河水表層流速變化亦無明顯關係。此外；由水溫歷線圖分析，相比對於事件報導日期前後幾天，其海水溫度有明顯變化(增溫後突然降溫)，推測應為牛奶河發生的另一個可能影響原因。

【表 6-3-2：2018愛河上游仁武區空氣監測數值表】

PM10	上游仁武區	空汙因素
2018/03/10	127.0 111.0 104.0 108.0 111.0 111.0 110.0 105.0 107.0 96.0 95.0 90.0 80.0 91.0 78.0 66.0 63.0 64.0 58.0 51.0 55.0 66.0 42.0 86.0	
2018/03/11	90.0 85.0 76.0 72.0 69.0 66.0 59.0 48.0 51.0 42.0 49.0 45.0 48.0 57.0 53.0 50.0 41.0 47.0 54.0 62.0 64.0 71.0 73.0 80.0	
2018/03/12	79.0 84.0 85.0 80.0 87.0 80.0 66.0 69.0 64.0 67.0 51.0 49.0 47.0 40.0 46.0 36.0 41.0 33.0 36.0 64.0 69.0 73.0 65.0	
2018/03/13	70.0 70.0 72.0 65.0 57.0 58.0 46.0 48.0 58.0 72.0 77.0 70.0 67.0 62.0 50.0 48.0 46.0 55.0 65.0 83.0 96.0 101.0 103.0 100.0	
2018/03/14	85.0 88.0 77.0 68.0 64.0 63.0 79.0 85.0 106.0 99.0 93.0 70.0 81.0 84.0 76.0 81.0 53.0 59.0 72.0 81.0 106.0 134.0	
2018/03/15	168.0 168.0 148.0 122.0 108.0 93.0 79.0 93.0 98.0 103.0 92.0 82.0 82.0 77.0 88.0 114.0 114.0 106.0 86.0 74.0 63.0 65.0 58.0 58.0	
2018/03/16	29.0 27.0 35.0 38.0 44.0 37.0 28.0 28.0 32.0 35.0 31.0 30.0 37.0 48.0 45.0 38.0 64.0 77.0 74.0 73.0 71.0 88.0 104.0 118.0	
2018/03/17	110.0 128.0 115.0 116.0 114.0 95.0 100.0 90.0 118.0 106.0 92.0 79.0 73.0 52.0 36.0 25.0 98.0 43.0 61.0 70.0 76.0 49.0 40.0 60.0	
2018/03/18	94.0 70.0 80.0 63.0 63.0 49.0 45.0 33.0 36.0 95.0 85.0 50.0 80.0 80.0 77.0 26.0 84.0 69.0 74.0 91.0 70.0 79.0 28.0 117.0	
2018/03/19	81.0 83.0 79.0 133.0 114.0 109.0 91.0 107.0 124.0 118.0 101.0 108.0 93.0 86.0 46.0 60.0 85.0 88.0 31.0 27.0 33.0 40.0 38.0 39.0	
2018/03/20	24.0 47.0 31.0 57.0 56.0 64.0 61.0 62.0 77.0 46.0 33.0 32.0 32.0 54.0 81.0 46.0 46.0 63.0 52.0 53.0	
2018/03/21	52.0 38.0 48.0 26.0 26.0 36.0 39.0 36.0 39.0	
2018/03/22	46.0 33.0 34.0 33.0 36.0 28.0 25.0 28.0 50.0 72.0 75.0 30.0 23.0 28.0 37.0 48.0 62.0 67.0 58.0 52.0 57.0 73.0 75.0 79.0	
SO ₂		
2018/03/15	4.7 4.0 4.5 6.5 6.0 4.3 4.6 10.4 9.1 8.7 9.7 6.6 6.2	4.2 2.8 4.3 3.8 2.8 3.2 2.9
2018/03/16	3.9 9.0 2.8 2.1 2.0 2.4 3.0 6.0 11.7 8.5 4.5 3.4 2.9 3.1 3.1 3.2 3.0 3.1 3.1 2.8 2.9 3.3 3.4 3.3	
2018/03/17	3.7 4.5 4.2 3.7 3.4 2.6 2.3 9.2 21.1 9.9 3.7 3.6 2.9 2.6 3.3 2.9 2.4 2.5 3.0 5.3 3.1 3.2 3.4 3.6	
2018/03/18	6.1 3.5 4.5 7.3 5.0 3.9 3.1 3.8 5.2 4.2 3.7 5.1 5.6 5.0 5.1 4.4 3.5 5.7 5.6 4.0 2.8 3.0 3.1 3.1	
2018/03/19	2.9 6.0 4.2 4.6 4.0 4.3 5.2 4.9 7.5 9.3 7.9 7.1 8.0 6.9 7.1 7.0 5.4 6.2 5.4 5.7 7.2 3.6 3.0 4.0	
2018/03/20	3.7 2.0 2.0 4.6 4.4 3.3 3.8 2.4 3.0 3.8 4.9 3.5 5.2 2.6 2.1 3.6 3.4 3.7 3.5 3.4 4.6 4.2 2.8 3.0	
2018/03/21	2.5 2.5 1.6 1.8 1.7 1.9 2.6 3.0 2.9 3.0 2.2 2.2 2.1 2.1 2.1 2.2 2.2 3.0 2.6 2.2 2.4 2.2 2.4	
2018/03/22	2.2 2.7 3.1 3.5 3.0 3.1 3.4 5.6 11.8 12.0 2.9 3.2 2.8 2.5 2.7 3.0 2.5 2.3 2.7 3.1 5.3 6.0 3.6 8.6	

柒、建議與延伸

經由本研究結果，建議可利用漲潮時，在上游處引進大量海水，可作為防治牛奶河的發生，並於後續延伸研究，探討愛河河水中硫酸鈣的主要來源，以作為相關汙染佐證與防治措施之參考。此外；本研究礙於時間及實驗器材限制，主要以新聞報導分析歸納之各項研究變因作為研究探討項目，然而；牛奶河的成因推測仍存在許多影響變因，如：河水中膠體的種類與性質、河水的表層的流速、河道的深度及不同河段(上、中、下游)水質性質及汙染物質'..等等，建議未來可進行更廣泛且更深入的探究。

捌、參考資料

1. 第五冊 自然與生活科技課本 第五章 水的分布與水資源，南一出版，P150~155
2. 環境變遷對於高雄愛河流域水環境汙染之影響陳建中、張乃斌、顏宏愷 高雄第一科技大學第十四屆環境規劃與管理研討會，2001
3. 宋心琦、王晶等. 化學(必修一) 人民教育出版社:P 26-29. (中國大陸)
4. 物理雙月刊(廿三卷四期) 2001年8月 P482-P487. 5
5. 交通部中央氣象局107年潮汐表(Tide Tables 2018年刊第 21期)P85
6. 研究論文：愛河之水文(曾若玄、蔡致維93.09)
7. 中央氣象局全球資訊網 <https://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
8. 港灣環境資訊網<https://isohe.ihmt.gov.tw/docklands/Kaohsiung.aspx#in-content>
9. 高雄市政府環境水體監測資料網<https://data.kcg.gov.tw/dataset/107river-water-quality>
10. 大樹國小、新中國小測站/2018年第四季/地下水區 水質資訊 <http://wq.epa.gov.tw/Code/CoreData.aspx?Water=Gdwater&Area=7&Station=4687>
11. 高雄市政府環境保護局\環境檢驗監測網\資料查詢\空氣監測數值查詢<https://ksenlab.ksepb.gov.tw/kh-taqm/zh-tw/HourlyData.aspx>