

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 化學科

第一名

050211

行動式空汙追源裝置 以鉻酸鉀溶液吸光度測量
還原性氣體濃度

學校名稱：國立高雄師範大學附屬高級中學

作者： 高二 陳可薰 高二 潘彥勳 高二 蔡秉寰	指導老師： 許峰銘
---	------------------

關鍵詞：鉻酸鉀、光度計、還原性氣體

得獎感言

問自己下一次的科學

就正如到中研院參訪時，院長告訴我們：科學研究的第一個問號，是自己給自己出的題目，這個題目能否有未來的發展性，其實就是自己在科學領域中的成熟度，要解決問題需要有很多背景能力的學習，能不能從起始問題裡，再向自己問第二個問題、第三個問題。再用實驗與資料搜尋，去找出解答。也許問題牽涉深奧理論，也許它有實際操作困難，甚至必須要花時間，去跟別人解釋為什麼要研究這個主題，但是在從事這些行動的過程當中，我們會獲得成長。

布展的第一天，四周非常強的作品，對我們來說，是第一次的震撼。兩個時段與教授的對談分享，擴張了我們的視野。我們沒有很深奧的題目，也沒有用很貴的儀器，只是一步一步解決問題，一層一層發現問題，在有限的時間內完成了這篇報告。

來到台北，只能加強做解說的準備。在飯店裡，思索討論研究中發現的問題，請老師檢視我們的回答是否有達到問題的重點。我們一直在想這個研究做得夠不夠仔細、深入、理論上有錯嗎？評審時，教授告訴我們要繼續做的事情，會是我們的缺點嗎？這一切都在宣布我們第一名的當下，忐忑的心情完全解開。

從一開始實驗失敗的失落感，撰寫報告的錯誤，因為結果不如預期而不得不轉向的不確定性，開發新設計又不知道它到底有沒有用，一年多來的努力，在這座獎盃拿到手上後，這些都值得了。我們三個只是對科學研究有興趣的同學，老師說最欣賞我們的，是會一直不斷努力的實驗，即使撞牆還會一直做。我們在課堂上所學的科學，已經不是應付考試用，它是實際上可以解決生活問題的，只是要用科學方法有耐心、有毅力的去做，只是要學會尋求網路文獻與老師的協助。感謝高師大附中老師與創客教室團隊。

我們是高師大附中科學研究的一個小片段，因為有好的研究環境，才能來揮灑我們的想法，與驗證構想的可行性。主動找資料，主動找老師討論。這些研究都是萬千科學領域的極小部分，鍥而不捨地纏著老師回答自己的問題，鍥而不捨地反覆重複著自己的實驗，科學數據處理，解決它、證明它。只有自己主動親身體驗思考，才能獲得最後的收穫，科展競賽中有許多既成的規則，把握研究時間，有效率的去完成與老師討論後，所要做的每一件事情，這是我們覺得可以給學弟妹的鼓勵與建議。

我們很幸運的來走這一趟，也有很好的運氣達成自己預期的研究假設，三個人的合作分工，也在這段時間之內達成了一定的默契，17歲這年的夏天，在台北，我們給了彼此一段璀璨的回憶，我們的科學旅程不會在這裡終止，也許這才是我們未來的開始。



榮獲 60 屆全國科展高中化學組第一名後與科教館館長合照



研究過程的第一步-配製不同濃度的鉻酸鉀溶液



最後一哩路-書面報告與解說稿的產出

摘要

本研究以光度計偵測鉻酸鉀溶液濃度，以其高氧化力特性，定量 SO_2 與 C_2H_2 濃度。結果證實氣體濃度與鉻酸鉀吸光度下降，有高度線性相關。 SO_2 的最適方程式為：吸光度 = $-0.2362 \times (\text{SO}_2 \text{ 體積\%濃度}) + 0.4472$ ，偵測極限 1.69%。 C_2H_2 的最適方程式為：吸光度 = $-0.146 \times (\text{C}_2\text{H}_2 \text{ 體積\%濃度}) + 0.4492$ ，偵測極限 2.74%。並運用光度計原理，以 3D 列印與雷射雕刻製造機體，結合紫光雷射、風扇攪拌器、數位電錶與薄膜輸氣裝置，組裝「行動式 420nm 紫光雷射光度計」與氣體收集裝置，驗證鉻酸鉀溶在濃度 10^{-4} 至 0M 之間，與光敏電阻值有高度線性相關：電阻值($\text{k}\Omega$) = $57044 \times [\text{K}_2\text{CrO}_4] + 1.5309$ ， R^2 為 0.98。實際應用到乙炔測量，每公升乙炔使電阻值下降 0.2041 $\text{k}\Omega$ ，為行動式裝置，已能有效偵測氣體污染事件，預防類似氣爆事件再發生。

壹. 研究動機

自然界裡還原性氣體的存在，總會帶來一些困擾。例如二氧化硫會形成酸雨，對動植物與建築物會造成傷害。2014 年高雄氣爆是由於丙烯外洩導致，而這些石化氣體就正因為它的還原性，才容易和氧氣產生爆炸。我們想找出一種氧化還原反應，針對這些氣體的存在，來檢測它們的濃度，於是就開始了這一次的研究。

在高三上選修化學第一章提到，電子吸收能量會由基態(ground state)越遷至激態(excited state)，並且由普朗克提出的能量公式 ($E=h\nu=C/\lambda$) 得知，當波長越大，所得能量會越少，反之，當波長越小，所得能量會越大。出於好奇，我們查閱了相關資料，得知分光光度計就是利用這個原理，有一篇科展報告⁽¹⁾即是利用分光光度計進行探討，內容提到鉻酸鉀及二鉻酸鉀在酸性或鹼性中只會表現其中一種型態。恰巧，鉻酸鹽類中鉻的氧化數為+6，是一種強氧化劑。兩種鹽類和還原性氣體之間的關係會是如何?我們先設定了二氧化硫與乙炔進行研究。

貳. 研究目的

本研究希望藉由使用分光光度計偵測鉻酸鉀鹽溶液濃度，藉由高氧化力的鉻酸鉀鹽溶液能與還原性氣體反應的特性⁽²⁾，來對二氧化硫與乙炔(還原性氣體與空汙氣體)進行定量。

- 一. 以分光光度計測量鉻酸鉀與二鉻酸鉀的吸光度曲線圖，找尋適合觀察的濃度區間與最大吸收波長。並以不同濃度與測出的最大吸收波長吸光度作圖，完成濃度-吸光度檢量線，以為後續與二氧化硫反應，偵測氣體濃度的定量依據。
- 二. 以國中硫代硫酸鈉與鹽酸的反應設計二氧化硫氣體產生裝置，以碳化鈣與水的反應設計乙炔氣體產生裝置。以空氣稀釋製造這些還原性氣體的不同濃度，將其灌入鉻酸鉀溶液中，以分光光度計吸光度的測量值對二氧化硫、乙炔還原性氣體濃度作圖，完成兩種氣體濃度-鉻酸鉀吸光度檢量線。二氧化硫為空氣中常見的汙染物，乙炔氣體有爆炸性。研究是否能準確測量由空氣稀釋後的這些氣體濃度。
- 三. 實際將空氣長時間的打入鉻酸鉀溶液中，觀察是否能以長時間的累積空氣中還原性氣體的量，造成鉻酸鉀溶液吸光度(濃度)的下降。
- 四. 設計自製「行動式 420nm 紫光雷射光度計」與搭配薄膜式幫浦的活栓注射筒氣體收集裝置，經過定量鉻酸鉀濃度與乙炔氣體輸入量測試新設計裝置效果後，將研究結果實際應用到空汙或有惡臭環境的現場，藉由測量出的鉻酸鉀吸光度下降(光敏電阻下降)值，找尋汙染源。

參. 研究設備及器材

一. 儀器設備：SP20 分光光度計、UV1800 分光光度計、UT-71D 電錶、酸鹼度計。

二. 自製儀器設備：三通針筒氣體製造裝置、行動式 420nm 紫光雷射光度計、薄膜式幫浦活栓注射筒氣體收集裝置等，以 3D 列印與雷射雕刻配合零組件，自行設計組裝的行動式裝置(如圖 01)。

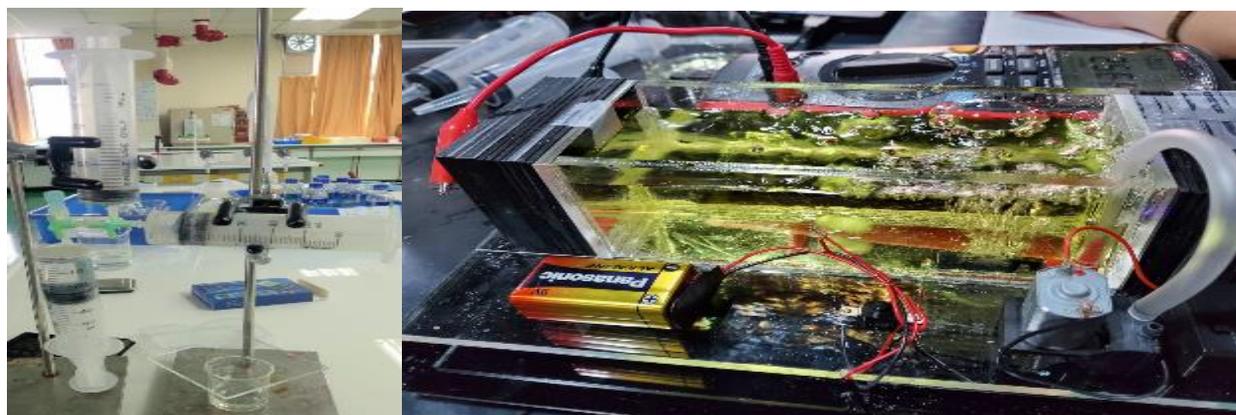


圖 01：三通針筒氣體製造裝置(左)、行動式 420nm 紫光雷射光度計(右)

三. 藥品：鉻酸鉀、重鉻酸鉀、鹽酸、硫代硫酸鈉、碳化鈣、氫氧化鈉。

四. 器材與相關零件：注射筒、三通活栓、燒杯、量筒、電池、開關、薄膜式輸氣裝置、電腦風扇磁性攪拌器、攪拌子、矽膠管、紫光雷射、數位電表(每秒輸出)、光敏電阻、氣體細化器、導線、3D 列印與雷射切割相關容器與固定裝置(如圖 02)。

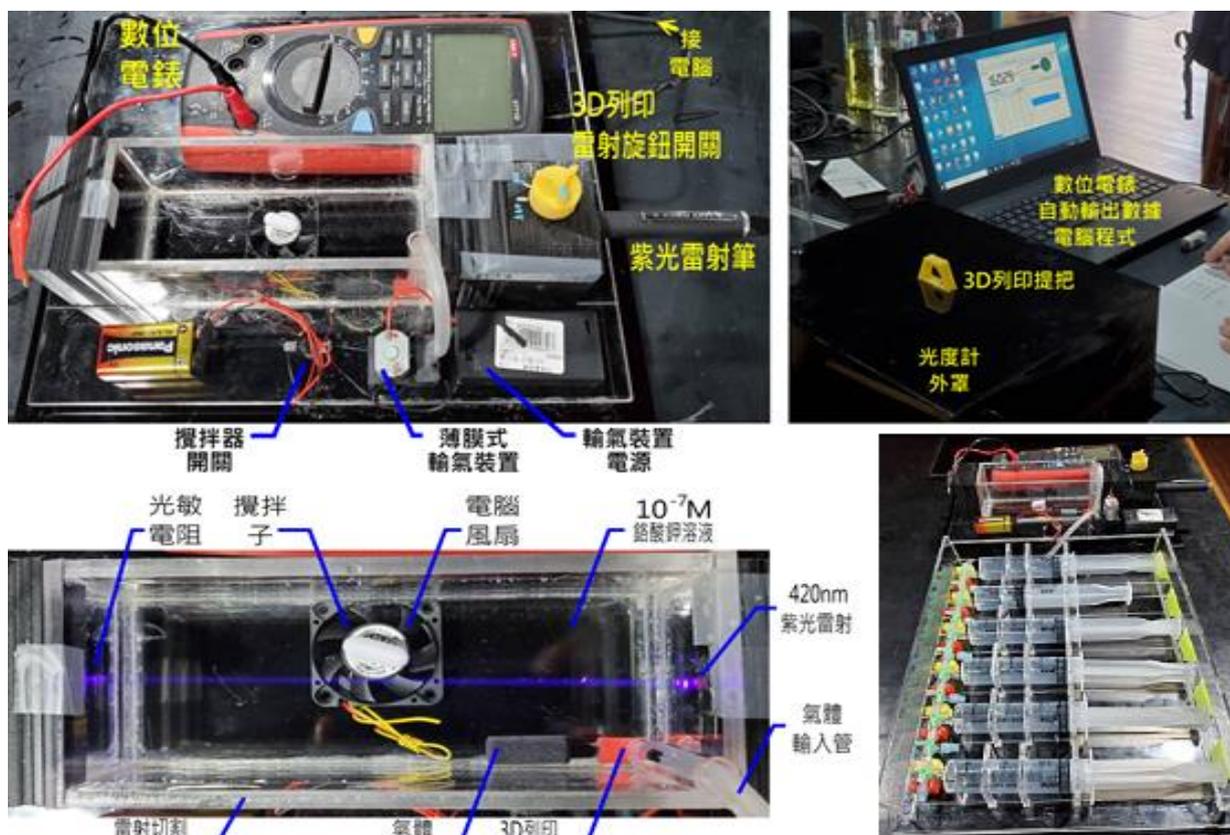
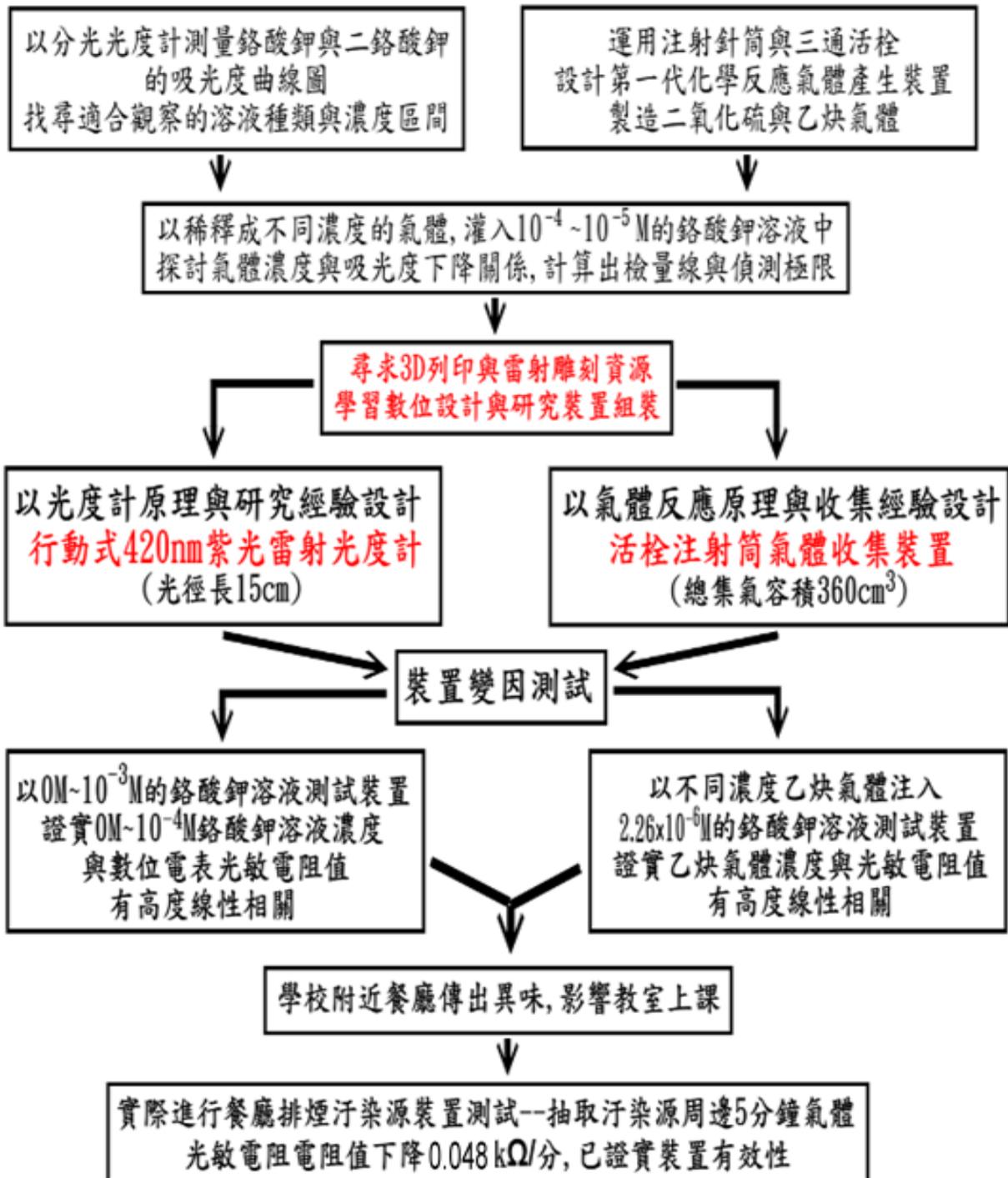


圖 02：行動式 420nm 紫光雷射光度計(上，左下)，三通針筒氣體製造裝置(右下)零件解析

肆. 研究過程與方法

一. 研究架構：



二.研究原理與對象：

(一)以光度計測量鉻酸鉀鹽類溶液吸收度之原理

利用光柵與濾鏡，使多色光的光束產生色散，配合狹縫的使用，產生波長範圍極小的單色光束(或直接用雷射光)，利用此種光，測定試料物質的光譜吸收位置與吸收光的相對強度，經由光偵測器(光電管或光敏電阻)將光強度轉為電流(電阻)，藉電錶讀出的數值(或吸光度曲線圖)，藉由比爾-朗伯定律 (Beer-Lambert law)，提供一般比色濃度分析與水溶液中離子的定量之用(如圖 03)。

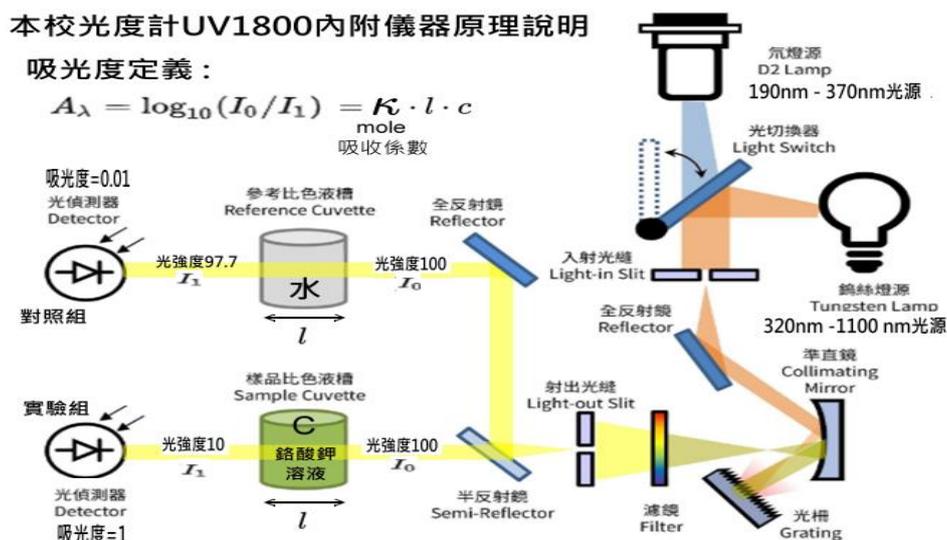
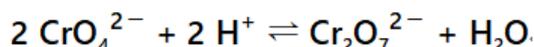


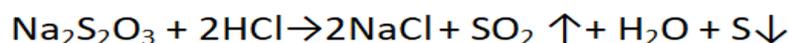
圖 03：UV1800 分光光度計內部結構原理圖(四)

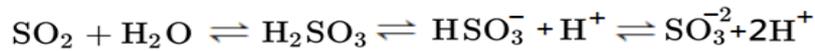
(二)研究對象：

1. 鉻酸鉀及二鉻酸鉀在水中易溶解，鉻酸鉀溶於水會解離出鉻酸根離子(CrO_4^{2-} ，黃色)，加酸會使反應平衡向二鉻酸根離子方向偏移($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)，使溶液呈橙紅色。經UV1800 分光光度計實驗發現：鉻酸鉀及二鉻酸鉀在 $7.0 \times 10^{-4}\text{M}$ 、 $5.0 \times 10^{-4}\text{M}$ 、 $3.0 \times 10^{-4}\text{M}$ 濃度下，吸光度會超出 1，最佳光度計濃度為 $10^{-4} \sim 10^{-5}\text{M}$ 。所以再稀釋配置成 $1.0 \times 10^{-4}\text{M}$ 、 $8.0 \times 10^{-5}\text{M}$ 、 $6.0 \times 10^{-5}\text{M}$ 、 $4.0 \times 10^{-5}\text{M}$ 以及 $2.0 \times 10^{-5}\text{M}$ 濃度之溶液。將其放入分光光度計中量測，觀察光譜圖並做出檢量線。



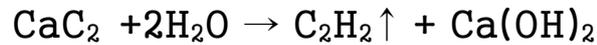
2. 硫代硫酸鈉加酸製備二氧化硫：二氧化硫易溶於水， 25°C 時溶解度約為 9.4 g/100 mL，為可逆反應，化學方程式如下：





硫代硫酸鈉為中性，為增加二氧化硫的量，實驗採用 0.1M 過量鹽酸，使反應完成後的溶液呈強酸性(實測 pH 為 1.3)，使亞硫酸系列的平衡盡量向左移動。

3. 碳化鈣加水可製備乙炔，乙炔易溶於水，20°C 時溶解度約為 0.12g/100 mL，空氣爆炸極限 >2.5%，製備化學方程式如下：



三. 研究設計與方法：

(一) 第一代：三通針筒氣體製造與輸氣方法(實驗裝置如圖 04)

以二氧化硫製造為例：

1. 針筒 1(下)吸入鹽酸 20ml，針筒 2(右)吸入硫代硫酸鈉溶液 10ml，上方為空針筒 3。
2. 轉動活栓使針筒 1、2 相通，3 不通，將針筒 2 中溶液全部打入針筒 1，關閉活栓，計時 2 分鐘待其反應。
3. 轉動活栓使針筒 1、3 相通，2 不通，將針筒 1 之氣體全部打入針筒 3。
4. 拔下針筒 3，用另一活栓將其堵住，二氧化硫製備完成。

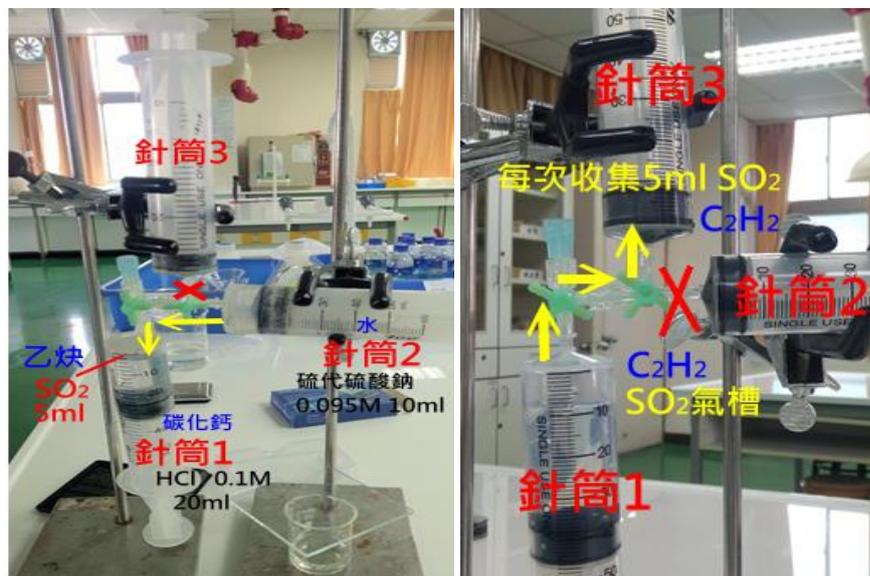


圖 04：二氧化硫與乙炔的三通針筒氣體製造法

5. 重複上述步驟，並在氣體製備完成後，依表一將針筒 3 分別吸入不等量的空氣，得出不同濃度的二氧化硫。

表一：製備氣體後的稀釋配方

SO ₂ , C ₂ H ₂ 氣體(ml)	5	5	5	5	5	5	5
SO ₂ 加入空氣後 C ₂ H ₂ 總體積(ml)	5	10	15	20	25	30	35
SO ₂ , C ₂ H ₂ 體積 百分濃度(%)	100%	50.0%	33.3%	25.0%	20.0%	16.7%	14.3%

6. 在 15ml 之 $8.0 \times 10^{-5} \text{M}$ 鉻酸鉀水溶液中通入 10ml 二氧化硫或乙炔氣體，重複輸入 10 次，每次輸入氣體後立即將玻璃片蓋於燒杯上，等待約 30 秒。
7. 將混合反應之溶液放入分光光度計測光譜圖，做出不同還原性氣體濃度與鉻酸鉀吸光度的檢量線，分析兩者線性相關程度。

(二)排水集氣法：打氣機與薄膜式輸氣幫浦打氣速率測量

1. 將集氣瓶裝滿水，測量內部容積為 285.0 毫升。
2. 將塑膠盆裝 8 分滿水，集氣瓶裝滿水，用玻璃片蓋住。將集氣瓶倒蓋入水中，塑膠管插入集氣瓶內。開啟打氣機，開始打氣。測量集氣瓶內水被空氣排光的時間，重複 10 次取平均值。
3. 算出水族用打氣機與薄膜式輸氣幫浦排光水時間與打氣速率如下：
 - (1) 水族用打氣機排光水時間為 21.56 秒，打氣速率為 13.22ml/s。
 - (2) 薄膜式輸氣幫浦排光水時間為 22.75 秒，打氣速率為 12.53ml/s。

(三)第二代：搭配薄膜式輸氣裝置的活栓注射筒氣體收集裝置 (圖 05) 進行輸氣裝置改良：

1. 以薄膜式輸氣裝置固定輸氣速率，避免人為施力打氣誤差。
2. 以活栓注射筒氣體收集裝置收集 360ml 氣體，收集後等待降至室溫，再以薄膜幫浦輸入行動式 420nm 紫光雷射光度計進行反應，可避免使用排水集氣法的水氣，損壞薄膜幫浦。也能加強灌氣時的控制變因操作，輸氣變為穩定。
3. 以氣體細化器，將輸入的氣體打成小氣泡，增加反應接觸面積。
4. 以電腦風扇磁性攪拌器與攪拌子，將反應前後的溶液均勻攪散，以增加反應速率。



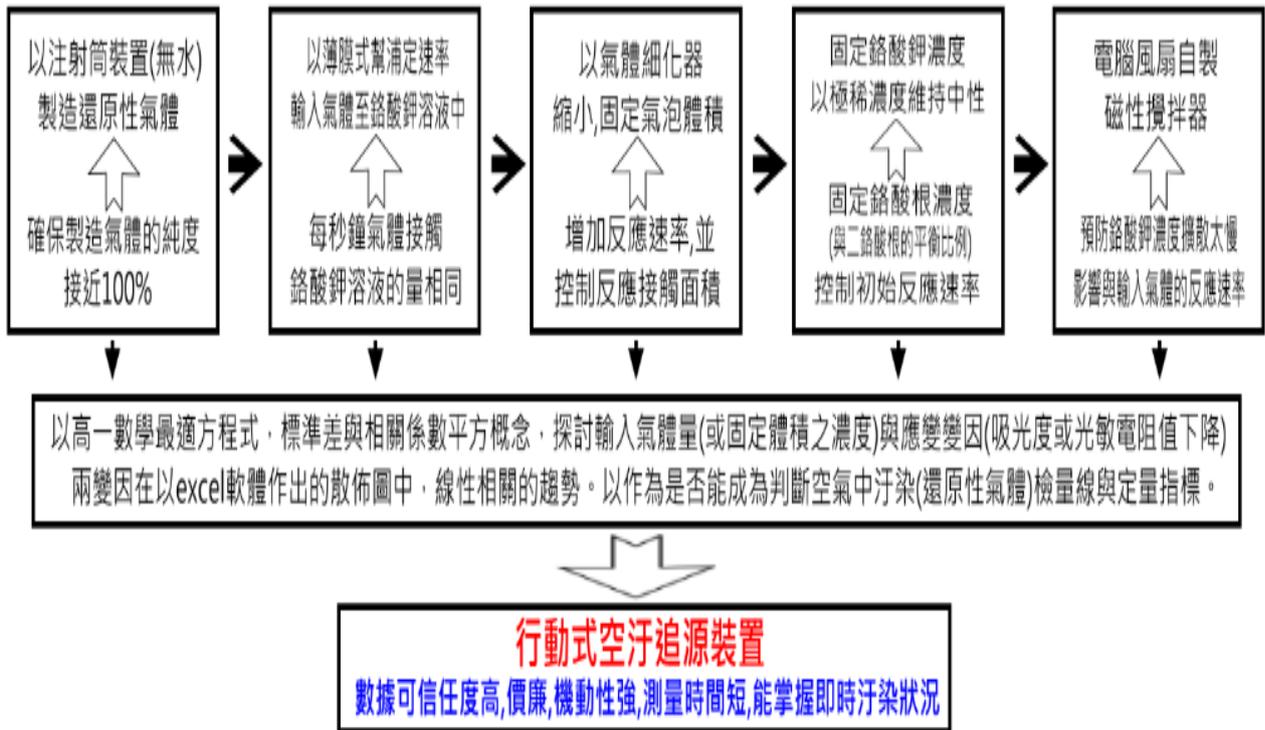
圖 05：搭配薄膜式輸氣裝置的活栓注射筒氣體收集裝置

(四)空氣汙染測試：長時間將空氣通入鉻酸鉀水溶液中

- 1.取 5ml 鉻酸鉀溶液裝入試管。將打氣機之塑膠管放入試管中，封住試管口，將封膜戳洞讓氣體流通。開啟打氣機通入氣體，持續 2~3 天。
- 2.將已打入空氣之鉻酸鉀溶液放入分光光度計分析。

三.研究預期目標：

(一)製作行動式空汙追源裝置，即時偵測汙染氣體排放，避免氣爆與吸入性傷害。



(二)偵測空氣汙染氣體：

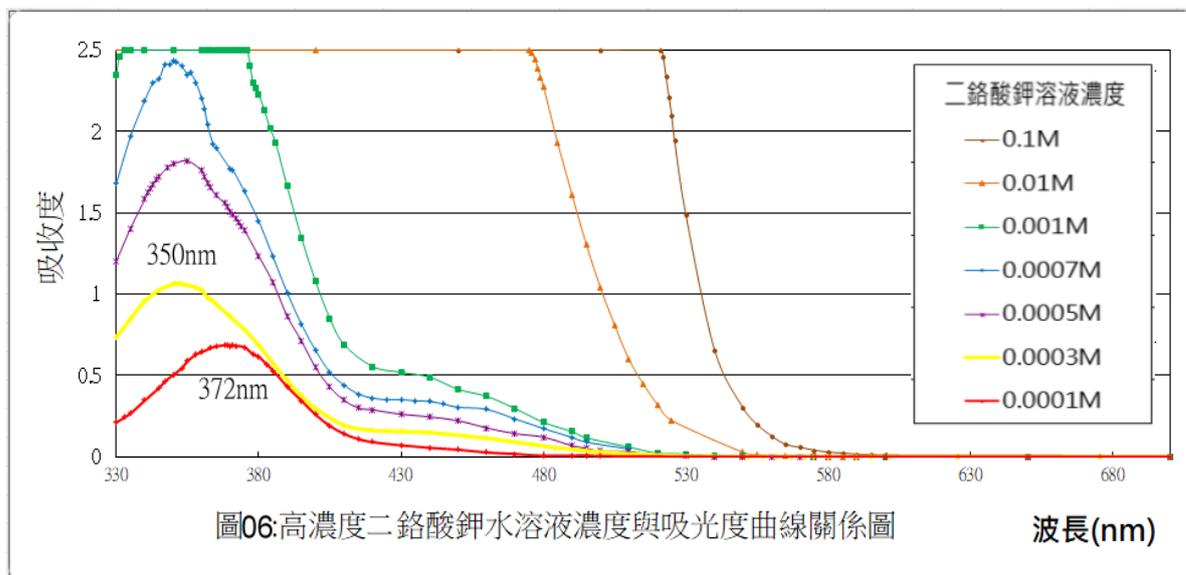
空氣中的還原性氣體種類很多⁽⁵⁾，有些是空氣汙染的主因，有些可能有潛在爆炸危險，這次研究先選擇能簡易製造出的二氧化硫與乙炔作為研究對象。鉻酸鹽類的氧化能力是否能成為一種定量氣體濃度的方法，是我們想了解的目標。但氣體濃度的檢量線必須實驗成功獲得，才能再開始進行其他氣體的進一步研究。在街上、在教室裡，偶爾回傳來令人噁心的臭味，這些汙染來自哪裡?往往沒有人願意承認，鉻酸鉀的氧化力與吸光度的下降，是一個可以利用的化學方法。為此，我們申請了學校的創客志工，讓雷射雕刻與 PLA-3D 列印成為我們科學研究的配備。行動式 420nm 紫光雷射光度計、薄膜式幫浦活栓注射筒氣體收集裝置，就在一次次的討論與修正中誕生，這個方法與裝置有辦法來判斷空氣中還原性氣體(或是惡臭氣體)的來源、種類與濃度嗎?研究進行半年，距離目標還很遠，我們將會持續努力下去。

伍、研究結果與討論

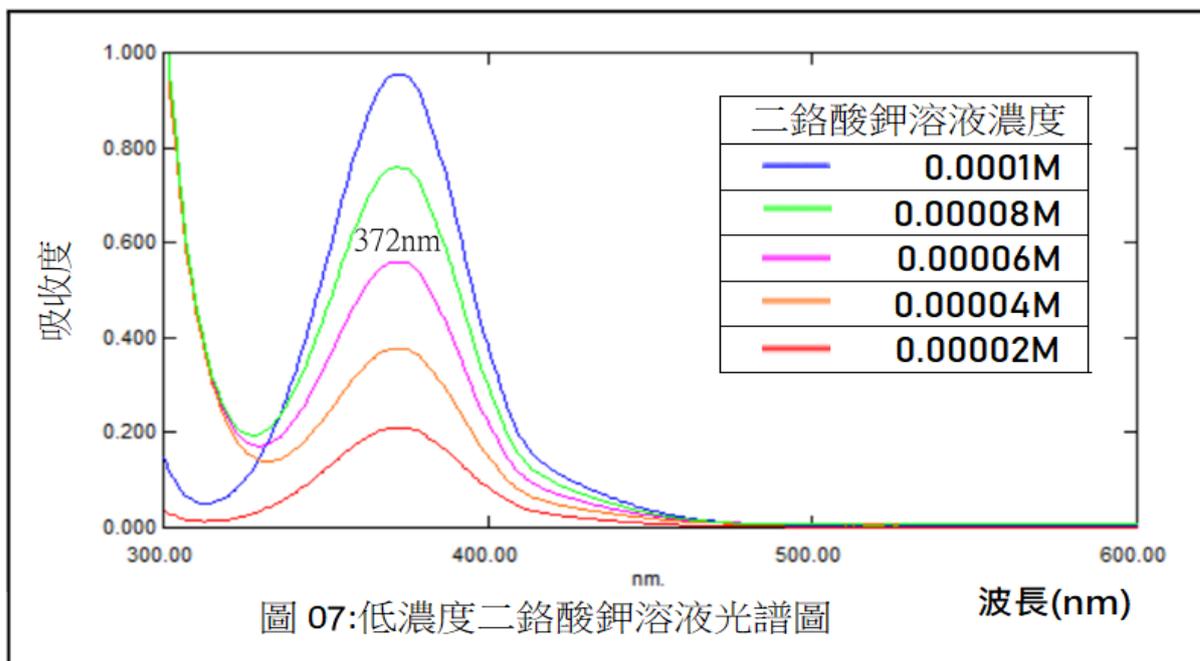
一、以分光光度計測量鉻酸鉀與二鉻酸鉀的吸光度曲線圖，找尋適合觀察的濃度區間、最大吸收波長與製作濃度-吸光度檢量線

(一) 二鉻酸鉀溶液吸光度曲線圖(如圖 6-7)

1.以 SP20 分光光度計測量高濃度的二鉻酸鉀溶液吸光度曲線圖

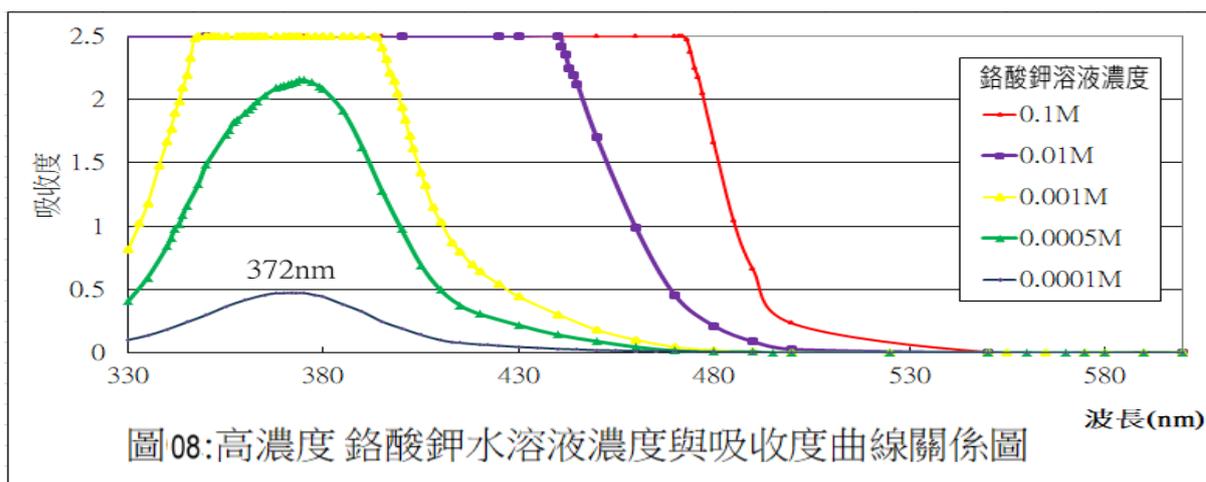


2.以 UV1800 分光光度計測量低濃度的二鉻酸鉀溶液吸光度曲線圖

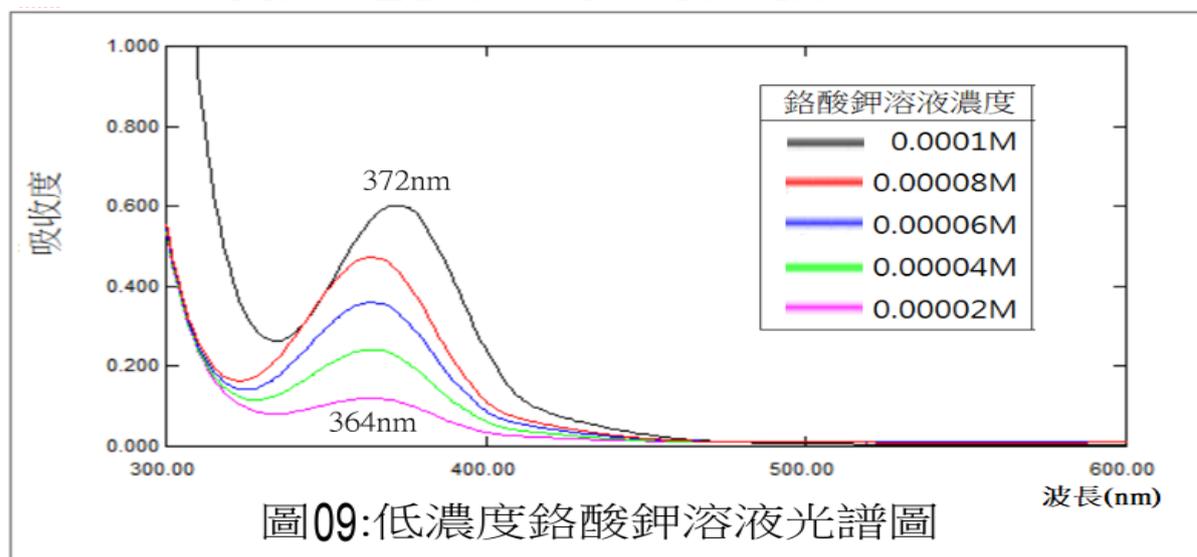


(二) 鉻酸鉀溶液吸光度曲線圖(如圖 8-9)

1.以 sp20 分光光度計測量高濃度的鉻酸鉀溶液吸光度曲線圖



2.以 UV1800 分光光度計測量低濃度的二鉻酸鉀溶液吸光度曲線圖



(三)整理兩種鉻酸鹽類最大吸光度波長如表二：

表二：兩種鉻酸鹽類最大吸光度波長整理

濃度(M)		7×10^{-4}	5×10^{-4}	3×10^{-4}	1×10^{-4}	8×10^{-5}	6×10^{-5}	4×10^{-5}	2×10^{-5}
最大吸收 波長	二鉻酸鉀	350	350	350	372	372	372	372	372
	鉻酸鉀	吸收度>2.5	372	372	372	364*	364	364	364

*鉻酸鉀溶液在 364nm 的吸收峰，放置一段時間(或打入空氣)後，會轉變成 372nm，吸光度不變。

1. 二鉻酸鉀吸收峰特徵在高濃度(酸性)時出現(350nm)。低濃度的鉻酸鉀鹽類溶液最大吸光度波長會趨向一致，集中在 372nm 附近。
2. 兩種鉻酸鉀鹽類溶液在 $10^{-4}M$ 以下濃度，皆為淡黃色(越低顏色愈淡)，肉眼幾乎分不出區別。在高濃度有明顯色彩變化(橘-黃-無色)，但二鉻酸鉀高濃度(0.1-0.01M)呈現橘色，應是吸收峰寬度大量跨躍 500nm 波長以上光譜區域所導致(如圖 10)。

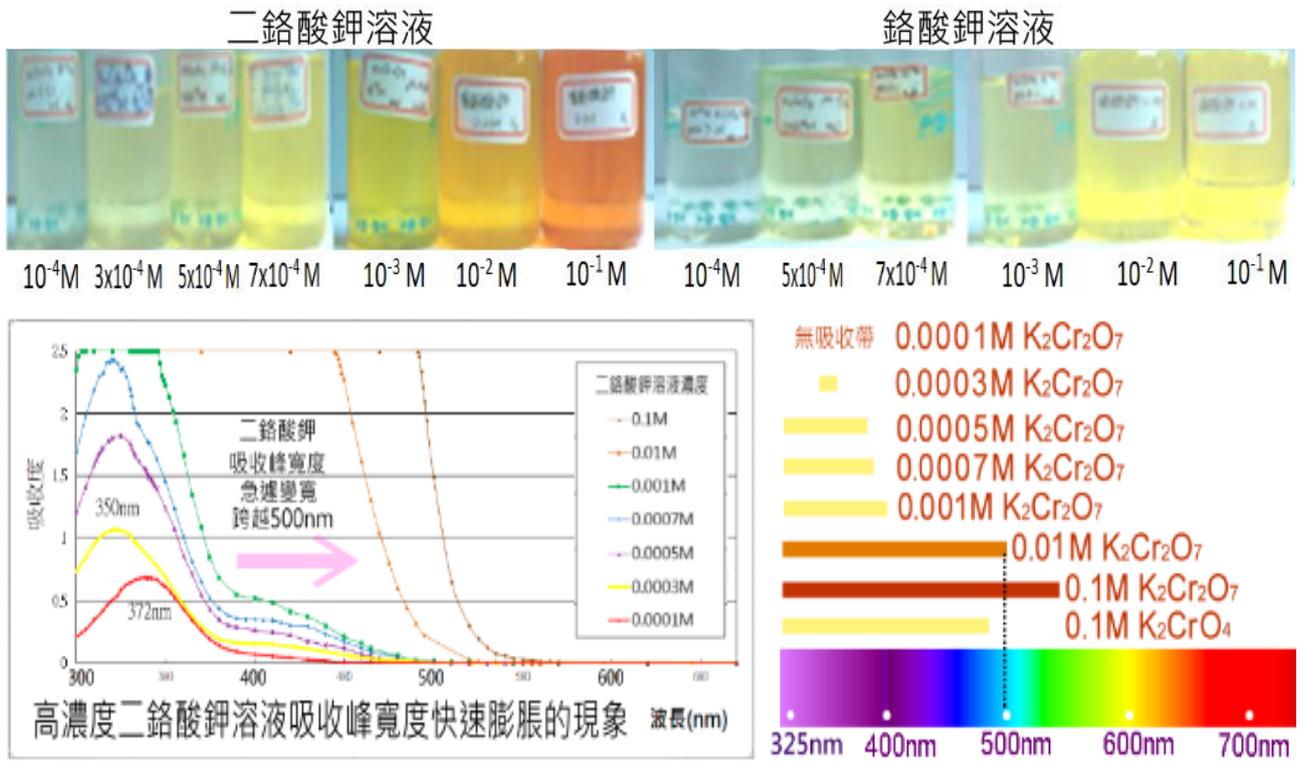


圖 10：鉻酸鹽實際顏色(上)，與吸光度大於 1 的各濃度吸收峰與可見光波長範圍比較圖(下)

(四)酸鹼度值與二鉻酸鉀、鉻酸鉀溶液濃度的關係(如圖 11)

表三：酸鹼度值與二鉻酸鉀、鉻酸鉀溶液濃度整理

鉻酸鉀， 二鉻酸鉀溶液濃度(M)	1.0E-01	1.0E-02	1.0E-03	5.0E-04	1.0E-04	8.0E-05	6.0E-05	4.0E-05	2.0E-05
濃度對數	-1.000	-2.000	-3.000	-3.301	-4.000	-4.097	-4.222	-4.347	-4.699
鉻酸鉀溶液 pH 值	9.64	9.42	8.31	7.82	7.35	7.25	7.15	7.08	7.02
二鉻酸鉀溶液 pH 值	3.85	4.69	5.44	5.72	6.33	6.48	6.62	6.75	6.98

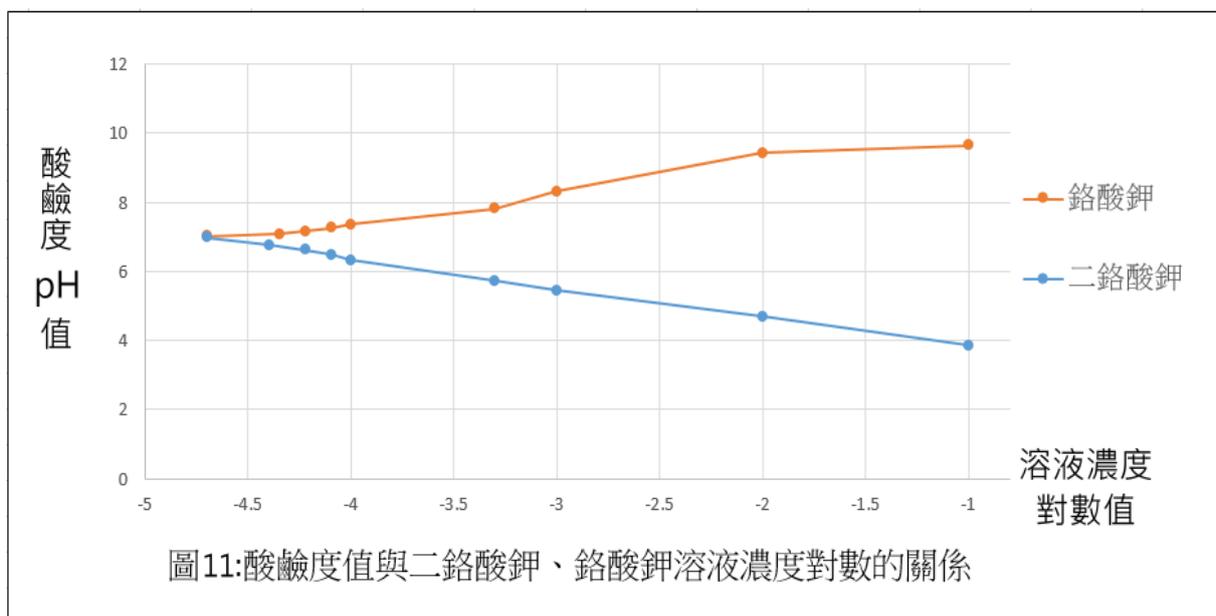
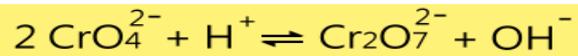


圖11:酸鹼度值與二鉻酸鉀、鉻酸鉀溶液濃度對數的關係

- 1.高濃度的鉻酸鉀溶入水中，會搶走氫離子，使水解離，放出的氫氧根離子會使水溶液變成鹼性。高濃度的二鉻酸鉀溶入水中，會搶走水中的氫氧根離子，使水解離，放出的氫離子會使水溶液變成酸性。



- 2.當濃度稀釋到 10^{-4}M 以下時，鉻酸鉀與二鉻酸鉀最大吸收度波長都在 372-364nm 之間，酸鹼度在 7.35-6.33 之間。低濃度時溶液已接近中性，二種鹽類吸收峰特徵趨近相同(372nm)。

(五) 兩種鉻酸鉀鹽的濃度對吸收度作圖與檢量線(如圖 12-13)

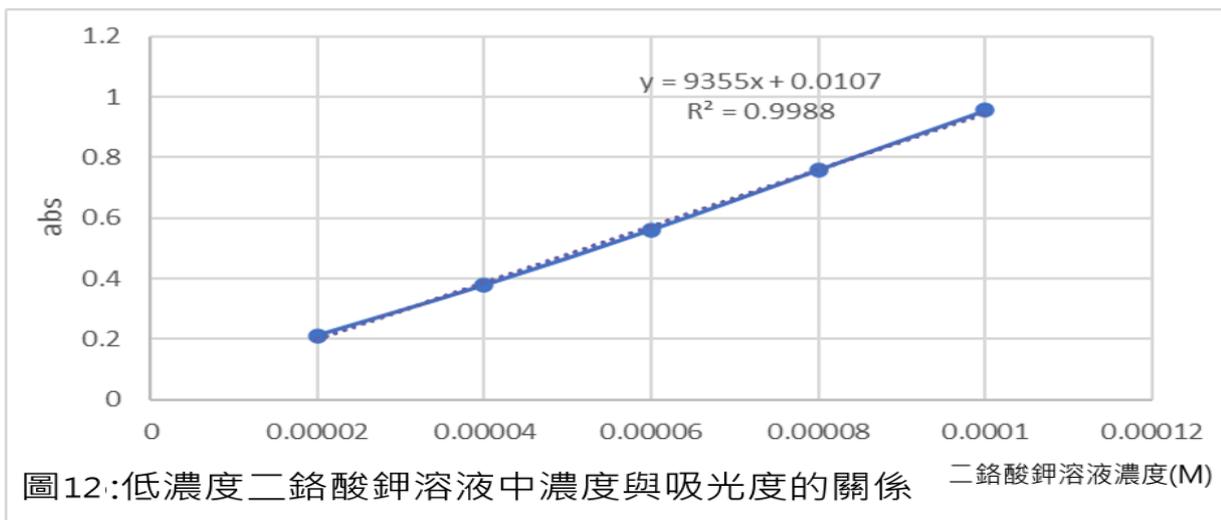


圖12:低濃度二鉻酸鉀溶液中濃度與吸光度的關係

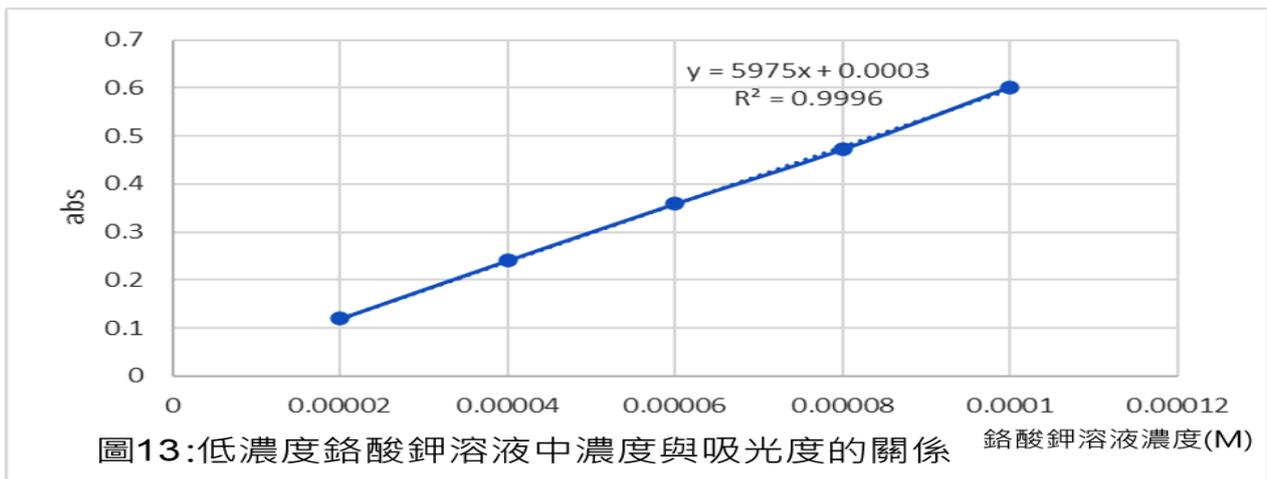


圖13:低濃度鉻酸鉀溶液中濃度與吸光度的關係

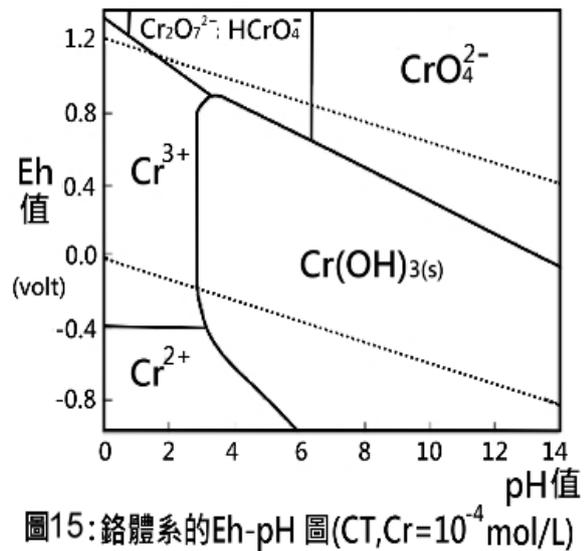
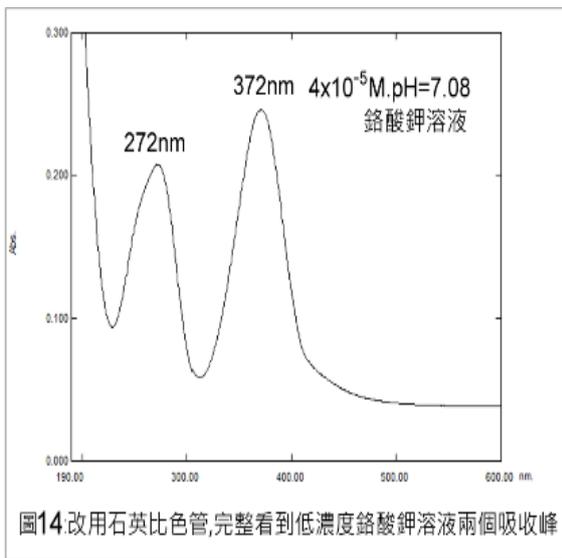
- 1.在 1×10^{-4} 至 $2.0 \times 10^{-5}\text{M}$ 濃度間，濃度對吸收度作圖所得到的檢量線方程式如下：

鉻酸鉀： 吸收度 = 5975 (濃度) + 0.0003 $R^2=0.9988$

二鉻酸鉀： 吸收度 = 9355 (濃度) + 0.0107 $R^2=0.9996$

相同濃度下，二鉻酸鉀吸光度皆高於鉻酸鉀(離子反應分裂)，但非為預測的 2 倍(實際為 1.57 倍)。中性溶液中：二鉻酸根離子分裂並不完全，不適合作氧化定量偵測依據。

- 2.依化學平衡理論，二鉻酸根的實際濃度(或吸光度值)並不會隨配製添加量等比例上升，因為部份的二鉻酸鉀會因平衡轉變為鉻酸鉀，故單純考慮添加二鉻酸根量所得之溶液濃度和吸收度無線性關係。需要用等吸光點(isosbestic point)的特性配合比爾定律來求得正確的值。但本研究證實二鉻酸鉀與鉻酸鉀溶液在 10^{-4} 至 10^{-5} M 間，線性關係檢量線相關係數平方值均超過 0.99，溶液平衡轉換不會影響濃度和吸收度的線性關係。
- 3.濃度越低，最大吸收峰波長全位於 372nm 處，為鉻酸根的特徵波長，二鉻酸根、鉻酸根主要都轉變成鉻酸根的型態穩定存在。但在加入吸收波長 190~300nm 的範圍後(使用石英比色管)，鉻酸鉀 pH 值在 7.08~13.4 間，除原來 372nm 吸收峰外，又出現 272nm 另一支吸收峰(如圖 14)，鉻酸鉀鹽吸收光譜複雜度超乎想像，有再探討的必要。



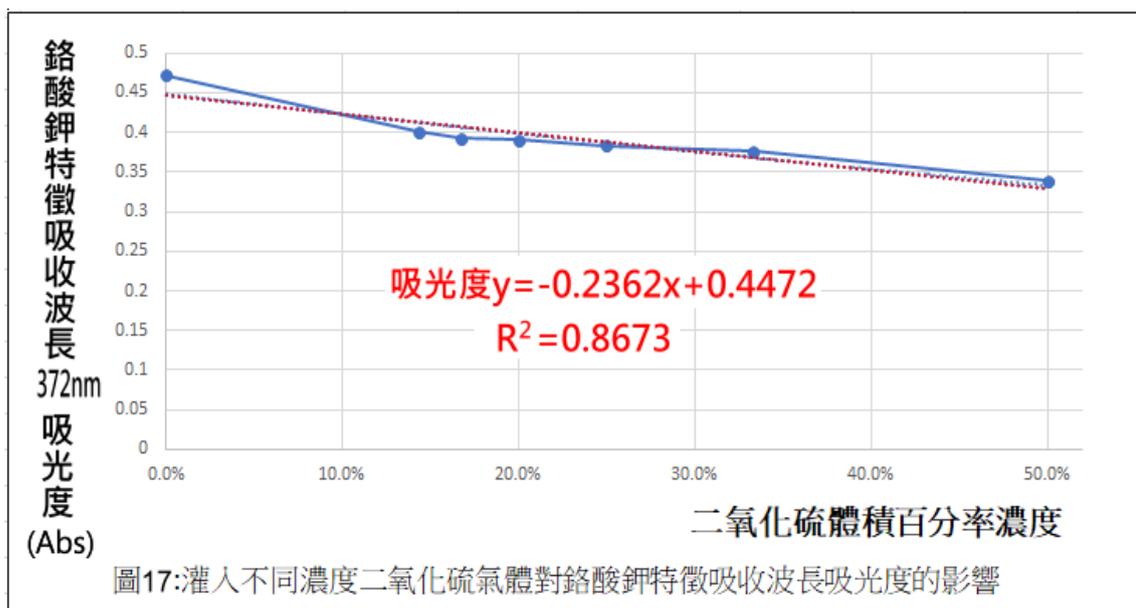
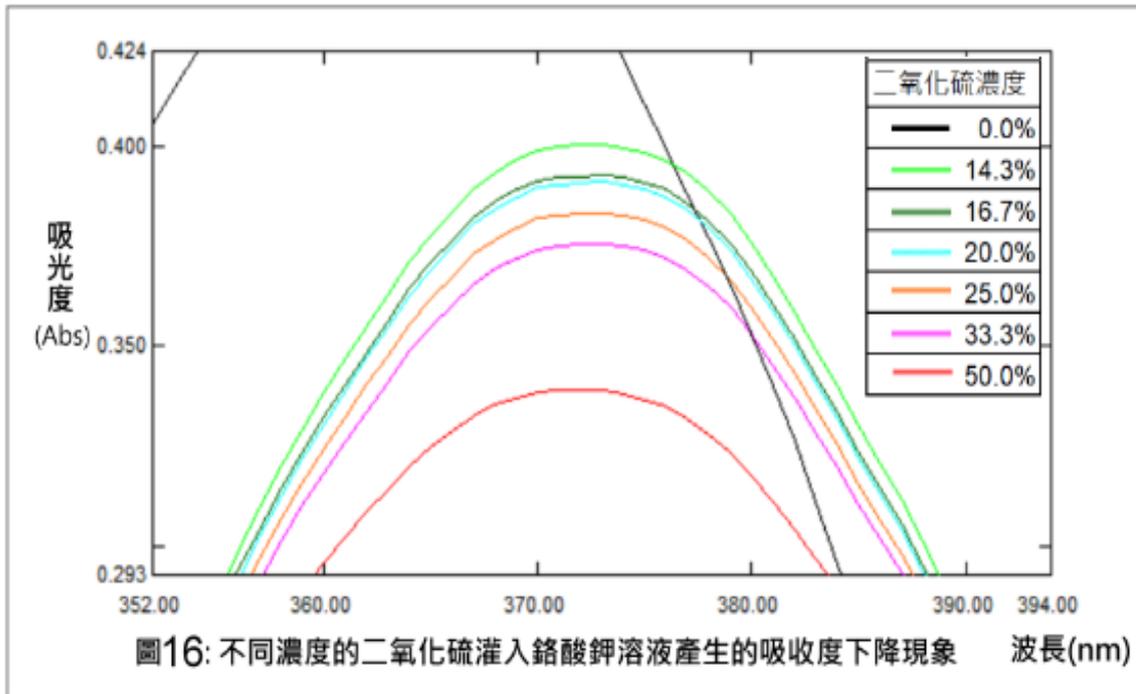
4.由鉻體系的氧化電位—酸鹼值圖^(九)來看：Eh 值是溶液氧化性或還原性強弱的衡量指標。Eh 值愈大，氧化性愈強，Eh 值愈小，還原性愈強。圖 15 中 6 價鉻愈酸，氧化力愈強。但氧化後要能產生 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 固體的酸鹼度範圍內，依氧化還原反應平衡原理，被氧化的對象愈能完全反應，這是本研究選擇鉻酸鉀的原因之一。

5.所以要作為還原性氣體的偵測工具，適合本研究的溶液種類與濃度區間為形態穩定的鉻酸鉀， 8.0×10^{-5} M 以下的範圍。

二.將 SO_2 與 C_2H_2 灌入 $8.0 \times 10^{-5}\text{M}$ 鉻酸鉀溶液中，以吸光度的測量值與氣體體積百分率濃度作圖，完成兩種氣體濃度-鉻酸鉀吸光度檢量線。(不同濃度氣體，每次灌入 10ml，每種濃度灌入 10 次)

(一) 二氧化硫(易溶於水的還原性氣體)(如圖 16-17)

二氧化硫濃度	0.0%	14.3%	16.7%	20.0%	25.0%	33.3%	50.0%
最高吸收峰之波長(nm)	364	373	373	373	373	373	371
最大吸光度 (Abs)	0.472	0.400	0.393	0.391	0.383	0.376	0.339

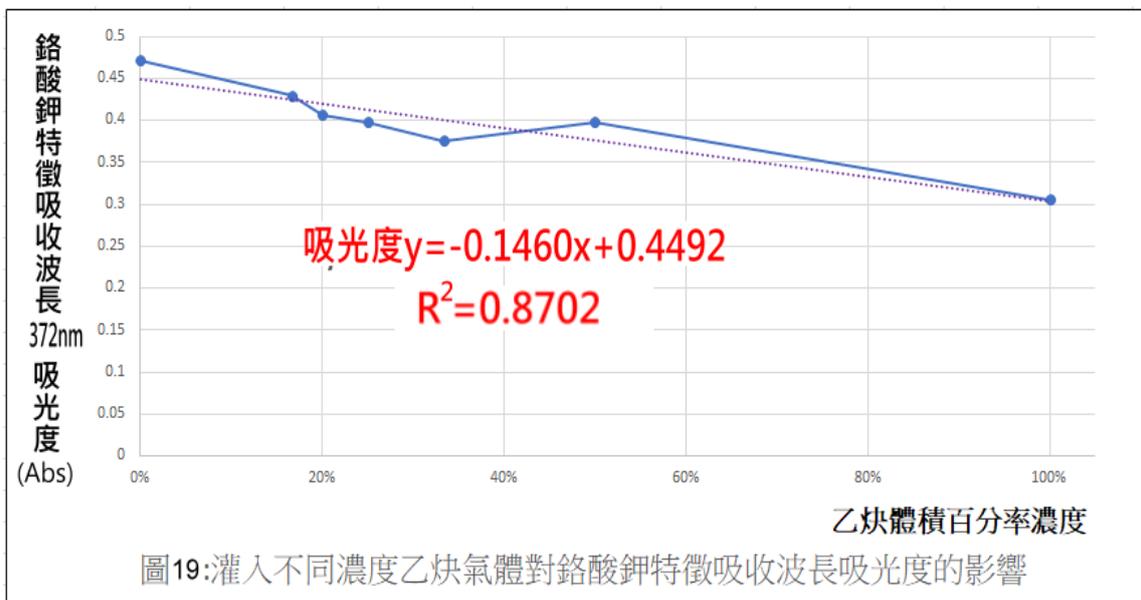
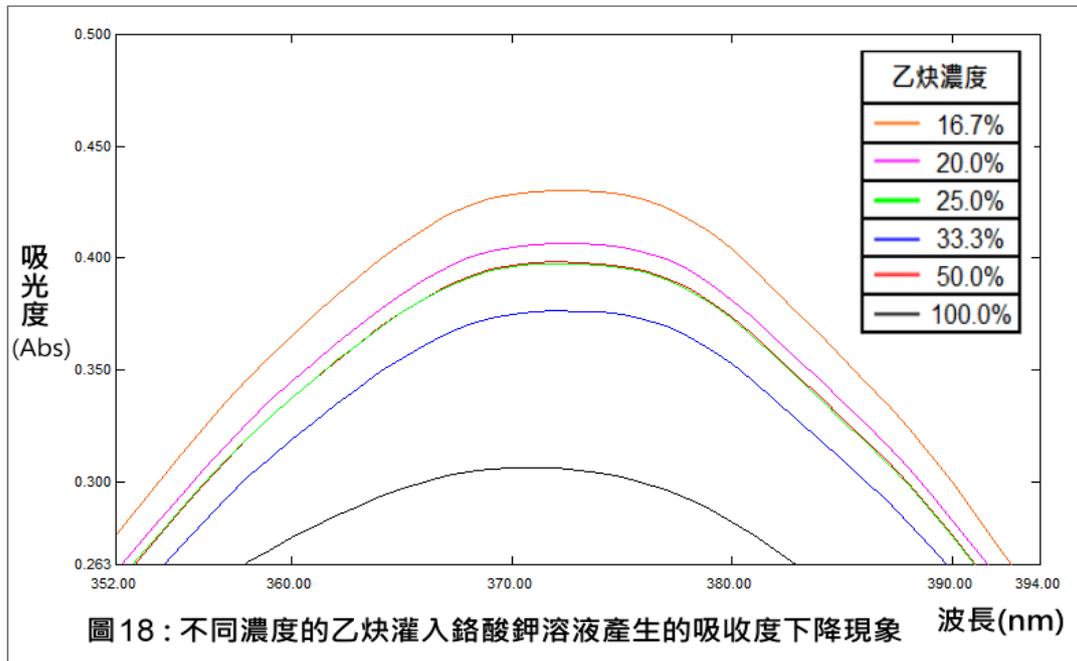


- 1.研究結果顯示：二氧化硫濃度每上升 1%，吸光度下降 0.002362Abs。
- 2.使用 $8.0 \times 10^{-5}\text{M}$ 鉻酸鉀溶液氧化二氧化硫，鉻酸根離子被還原而降低鉻酸根濃度，

導致吸光度下降。

(二)乙炔(難溶於水的還原性氣體)(如圖 18-19)

乙炔濃度	0.0%	16.7%	20.0%	25.0%	33.3%	50.0%	100.0%
最高吸收峰波長(nm)	364	373	373	373	373	373	371
最大吸光度(Abs)	0.472	0.430	0.407	0.398	0.376	0.398	0.306



1.研究結果顯示：乙炔濃度每上升 1%，吸光度下降 0.00146Abs。

2.使用 $8.0 \times 10^{-5} \text{M}$ 鉻酸鉀溶液氧化乙炔，鉻酸根離子被乙炔還原而降低鉻酸根濃度，導致吸光度下降。

(三) 將二氧化硫和乙炔打入酸鹼度近中性的鉻酸鉀溶液中，會有兩個化學反應上量的問題：

1.打入的氣體並不會完全與鉻酸鉀溶液反應，大部分的氣體會變成氣泡浮出水面，大部分的氣體是散失的。氣泡的大小、氣泡灌入溶液的速率、是否有攪拌，溶液中相關反

應物的擴散速率，都會影響氣體與鉻酸鉀溶液的反應。

2. 打入的氣體可能會影響鉻酸鉀水溶液的酸鹼，使鉻酸鉀與二鉻酸鉀產生平衡移動，鉻酸鉀吸光度的下降，就不是只有被氣體還原的因素。
3. 就正因為這兩個因素影響的變因相當多，在實驗控制的難度很高，所以本研究乾脆由最後的結果來看，以最適方程式的角度來觀察。
4. 如果在散佈圖的數據分析中：打入氣體的量與鉻酸鉀吸光度下降有高度的線性關係，就表示這樣的裝置可以用來測量空氣中污染氣體的多少。中間這些變因的影響就可以視為相同效果(控制變因)。實驗結果證明這個測量氣體的方法，的確出現了高度的線性相關。偵測方法可被視為有效。

(四)在 $8 \times 10^{-4} \text{M}$ 鉻酸鉀溶液中灌入二氧化硫與乙炔氣體，都可以觀察到不同氣體體積百分率濃度會造成鉻酸鉀溶液吸光度不同程度的下降，灌入的氣體濃度都和鉻酸鉀特徵吸收波長(372nm)吸光度下降，有高度的線性相關(R^2 都在 0.85 以上)。基於這種結果，本研究進一步由兩種氣體的濃度與吸光度線性回歸方程式，來計算這兩種氣體在鉻酸鉀溶液偵測方法中的偵測極限為何。

1. 本校 UV1800 分光光度計說明書所記載的儀器吸光度準確度與再現性：

Photometric Accuracy	± 0.002 Abs (at 0.5 Abs), ± 0.004 Abs (at 1 Abs) ± 0.006 Abs (at 2 Abs); Tested by using NIST930D or NIST1930, or other appropriate standard filter.
Photometric Repeatability	0.001 Abs or less (at 0.5 Abs), 0.001 Abs or less (at 1 Abs), 0.003 Abs or less (at 2 Abs)

2. 氣體偵測極限計算：(灌入 15ml, $8.0 \times 10^{-5} \text{M}$ 鉻酸鉀溶液中，每次灌入 10ml，每種濃度灌入 10 次)。

$$\frac{\text{氣體濃度偵測極限}}{\text{photometric Accuracy } (\pm 0.004)} = \frac{100\% \text{濃度}}{\text{氣體濃度-吸光度線性方程式斜率值}}$$

3. 兩種氣體在鉻酸鉀溶液偵測方法中的偵測極限：二氧化硫為 1.69% ;乙炔為 2.74%

4. 對二氧化硫來說，我國環保署固定污染源空氣污染物排放標準^(六)，在排放的管道附近的限制標準是 100 到 300ppm(0.01~0.03%)，在周界(一般區域)的允許濃度是 0.3ppm。這樣的檢測標準不是本研究用鉻酸鉀這個方法(偵測極限 1.69%)能夠達到的。國家公告的二氧化硫含量測定方法為代號 NIEA A416.13C 的紫外光螢光法^(六)，是利用波長介於 190-230 nm 之紫外光來激發二氧化硫分子，再量測其降回基態時所發出之 350nm 螢光強度，來測定空氣中二氧化硫的濃度。這方法適用於空氣中濃度 0-500ppb 二氧化硫含量測定。我國固定污染源空氣污染物排放標準所列污染物濃度標準均在 500ppm 以下，

這不是本研究鉻酸鉀溶液氧化這個方法可以處理的範圍。

- 5.對乙炔來說，我國環保署並未明定排放標準。但在中華壓力容器協會網站⁽⁵⁾中記載：乙炔是可燃易爆氣體，在空氣中的爆炸極限為 2.2%-81%，與氧氣混合時為 2.8%-93%，本研究在鉻酸鉀溶液偵測方法(100ml 的氣體輸入)中，乙炔的偵測極限為 2.74%。若能再一步改良輸入氣體的量與裝置(如：加裝氣體細化器，增加反應接觸面積等)，應該能降低偵測極限，使鉻酸鉀溶液偵測方法更為有效。
- 6.我國環保署水中化學需氧量檢測方法為重鉻酸鉀迴流法 (NIEA W515.55A)，是在水樣中加入過量的重鉻酸鉀溶液，在約 50% 硫酸溶液中迴流，剩餘之重鉻酸鉀，以硫酸亞鐵銨溶液滴定，由消耗之重鉻酸鉀量，即可求得水樣中化學需氧量 (Chemical oxygen demand，簡稱 COD)。本研究嘗試將氧化範圍擴充到氣體，藉由鉻酸根離子氧化氣體，導致自身吸光度下降，來檢驗空氣中有機氣體(汙染)的量。

三.將空氣長時間的打入鉻酸鉀溶液中，觀察是否能以長期累積空氣中還原性氣體的量，造成吸光度下降：

(一)設計 4 組通入 3 天空氣的鉻酸鉀溶液中，有 1 支(樣本 2)已經完全沒有液體，考量氣體真正灌入液體的時間可能不足 3 天，我們將此樣本捨棄，而另外 3 支樣本則僅僅殘存些許液體，已不足分光光度計測量所需，因此我們將水加至原來的 5ml 再放入分光光度計分析。

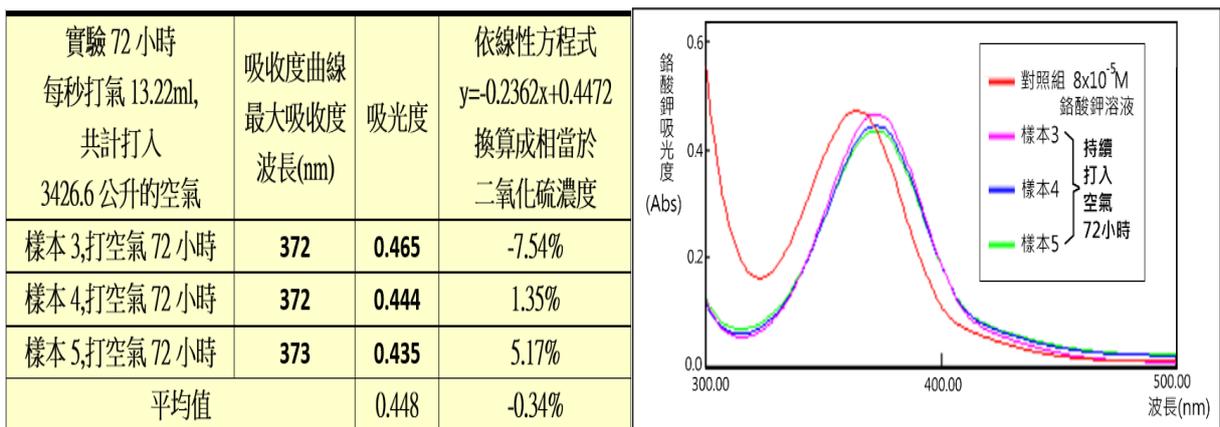


圖 20：將實驗室的空氣打入鉻酸鉀溶液吸光度數值(左)，吸收度曲線(右)

(二) 經過 72 小時，將實驗室的空氣打入鉻酸鉀溶液，輸入氣體的體積已經是原本做檢量線時的三萬多倍，但空氣中相當於二氧化硫的還原性氣體三次實驗平均還是接近 0，這表示空氣中的還原性氣體濃度真的很少(如圖 20)。從另外一個角度來說，由於空氣中五分之一是氧氣，有這多量的氧化劑存在，還原性氣體能夠存在的量，本來

應該就是很少才是。

(三) 將實驗室的空氣打入鉻酸鉀溶液，最大吸收峰由 364nm 平移至 372nm，但吸光度並沒有變化，由於空氣中可大量溶於水的氣體應該是二氧化碳，可能是二氧化碳造成水溶液的酸化，導致最大吸收峰改變位置。所以本研究認為 364nm 為鉻酸根的特徵波長，372nm 為鉻酸氫根的特徵波長。

(四) 不同的可燃性氣體，被鉻酸鉀溶液氧化時，藉由研究計算吸光度下降與氣體體積百分率濃度檢量線的線性方程式，是否有可能發展可以辨別氣體種類的方法。可燃性氣體是否存在，在其累積到爆炸之前，先作灑水稀釋的處理，可以預防爆炸。氣體濃度愈高，吸光度下降愈快，以數據統計追出污染源。這些都是本研究想要繼續研究下去的主要目標之一。可燃性氣體有其爆炸極限下限(如圖 21)^(七)，分光光度計也有其偵測極限，要提升鉻酸鉀溶液偵測方法的有效性，降低偵測極限，勢必要進行測量儀器的改良，才能實際運用這個方法來預防空汙(氣爆)的發生。

物質名稱	分子式	爆炸濃度 (V%) 下限	爆炸濃度 (V%) 上限
甲烷	CH ₄	5	15
乙烷	C ₂ H ₆	3	15.5
丙烷	C ₃ H ₈	2.1	9.5
丁烷	C ₄ H ₁₀	1.9	8.5
乙烯	C ₂ H ₄	2.7	36
丙烯	C ₃ H ₆	2	11.1
丁烯	C ₄ H ₈	1.6	10
丁二烯	C ₄ H ₆	2	12
乙炔	C ₂ H ₂	2.5	81
環丙烷	C ₃ H ₆	2.4	10.4
苯(液體)	C ₆ H ₆	1.3	7.1
甲苯	C ₆ H ₅ CH ₃	1.2	7.1

圖 21：可燃性氣體爆炸極限上下限

四、設計自製「行動式 420nm 紫光雷射光度計」與薄膜幫浦氣體收集裝置，經過定量鉻酸鉀濃度與乙炔濃度測試新設計裝置效果後，經將研究結果實際應用到空汙或有惡臭環境的現場，藉由測量出的鉻酸鉀吸光度下降(光敏電阻上升)值，找尋汙染源。

(一)設計概念：

以分光光度計(UV1800)來作為偵測空氣中污染物的方法，研究結果得到的偵測極限，並不能滿足實際上的需求，因此我們從光度計的設計圖著手，嘗試設計能將偵測極限降得更低的實驗裝置(如圖 22)。根據比爾定律：光徑長愈長，能夠偵測的溶液濃度越低，所以我們用雷射雕刻切割，組裝出 15 公分光徑長的比色槽，比原來分光光度計(UV1800)一公分寬的比色管，多了 15 倍，每次使用的鉻酸鉀溶液量為 400ml。



圖 22：自製「行動式 420nm 紫光雷射光度計」與薄膜幫浦氣體收集裝置

光徑長增加，就可以有足夠空間在比色槽裡進行反應，為使反應物碰撞機率增加，反應更完全。就在比色槽裡加裝了磁石攪拌器與氣體細化器輸入裝置。立即反應立即測量，在實驗時間上改良了分光光度計(UV1800)的缺點。

由於買不到 372nm 雷射光，只能用 420nm 紫光雷射來代替分光光度計(UV1800)的光源裝置(鎢絲燈與氙燈)。雷射光具有單色性、準直性(低發散性)、高強度，優於其他光源。與光敏電阻、UT-71D 三用電錶[每秒自動紀錄， 400Ω / $4k\Omega$ / $40k\Omega$ / $400k\Omega$ / $4M\Omega$ / $40M\Omega$ 、 $\pm(0.3\%+8)$]搭配後，形成光強度偵測組件。

這幾項裝置的改良，可以測量到更稀的鉻酸鉀濃度，對於外界的空氣污染偵測會有更靈敏準確的反應，裝置的測試與實際應用分為以下三個實驗：

(二)自製「行動式 420nm 紫光雷射光度計」進行不同鉻酸鉀濃度與光敏電阻值關係測試。

實驗總共分成四組，分別是無蓋無攪拌、有蓋無攪拌、有蓋有攪拌、有蓋有攪拌有打氣，探討不同變因是否會對不同濃度的鉻酸鉀吸光度造成影響(以標準差來判斷)，預期假設鉻酸鉀濃度愈高，電阻值也愈高。(鉻酸鉀溶液量為 400ml)

1.實驗變因設計：在四種不同裝置設定下，測量光敏電阻值與鉻酸鉀濃度關係：

裝置設定	遮斷外界光源(加蓋) (外界燈光是否影響吸光度)	磁石攪拌 (攪拌是否影響吸光度)	氣體細化器打入空氣 (氣泡是否影響吸光度)
1	×	×	×
2	○	×	×
3	○	○	×
4	○	○	○
標準差判斷結果	外界燈光會影響吸光度	攪拌不會影響吸光度	氣泡不會影響吸光度

2.實驗結果：(如圖 23-24)

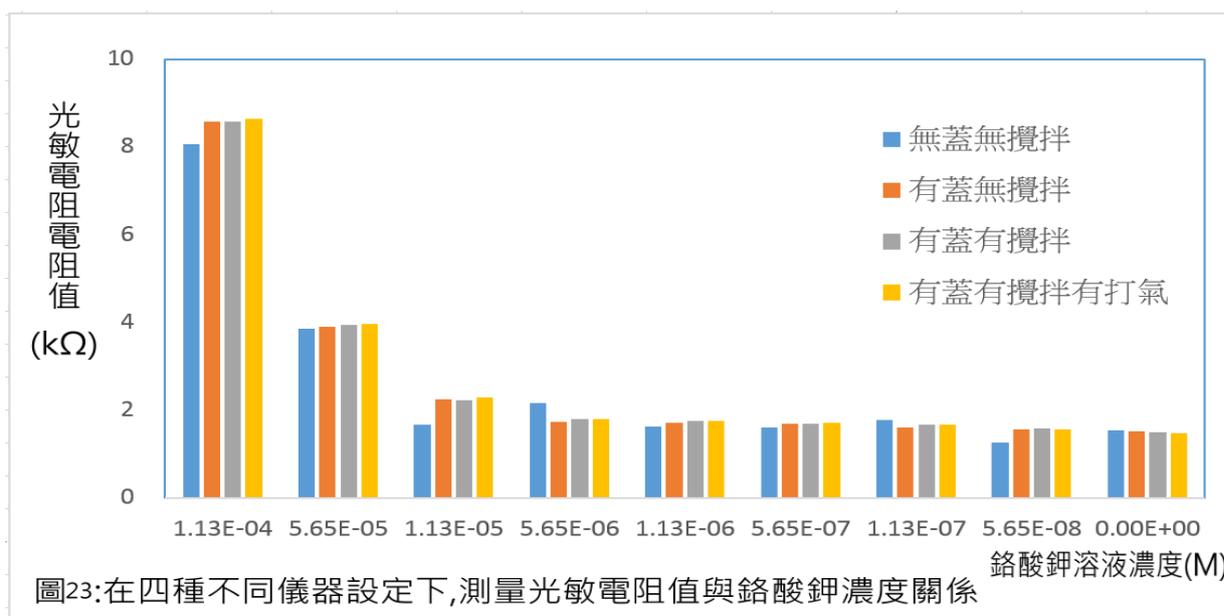
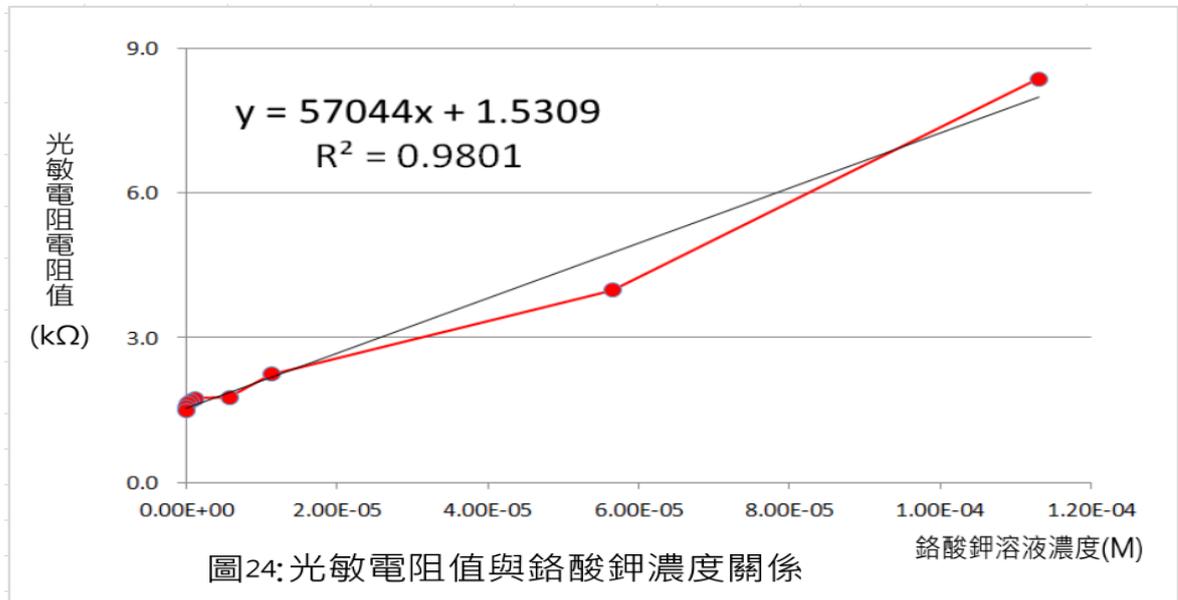


表 04：光敏電阻電阻值在四種實驗設定中，數據標準差比較

裝置設定	1 無蓋無攪拌	2 有蓋無攪拌	3 有蓋有攪拌	4 有蓋有攪拌有打氣
各濃度電阻值標準差平均	0.02308	0.01017	0.01085	0.006614

3.由圖 23 與圖 24 可知鉻酸鉀濃度愈低，測得的電阻值愈低，且在無蓋無攪拌的情形下，光敏電阻值變化較為不穩定(標準差較大，如表 04)，因此我們取其他三組做平均，得出以下線性關係圖(如圖)，得到當鉻酸鉀濃度每上升 $10^{-4}M$ 時，其光敏電阻值上升 $5.7044k\Omega$ ，由此可知，電阻值與鉻酸鉀濃度成正比，也因為其相關係數高達 0.9801，所以算是有高度的線性相關。



4. 無加蓋無攪拌的實驗結果導致標準差較大，其原因應該是歧光⁽¹⁾。歧光是光學儀器當中，經過散射或反射，才打到樣品槽的光，或是外界逸入儀器中，進入偵測器的光。這些光以外界遮光或其他光源的方式，影響光敏電阻值，導致數值變動較大(標準差大)。因此在設計光學儀器時，除了使光徑要能夠暢通外，同時也要確保儀器內部完全不會有外部的光進入。
5. 若加入鉻酸鉀濃度 $1.13 \times 10^{-3} \text{M}$ 與 $6.22 \times 10^{-4} \text{M}$ 兩個高濃度的實驗結果，會造成鉻酸鉀濃度對電阻值作圖的線性相關係數平方值的下降(如表 05)，所以檢量線只取 $0 \sim 1.13 \times 10^{-4} \text{M}$ ，在高瞻計畫自然科學網站⁽¹⁾上查得：濃度增加會造成溶液折射率的改變。溶液濃度上升，溶質分子的電子雲會逐漸靠近，產生排斥、極化的作用，引起光通過溶液的速度改變，造成溶液折射率變化。因為莫耳吸收係數是折射率的函數，所以折射率的改變也會導致莫耳吸收係數的改變，影響吸光度。

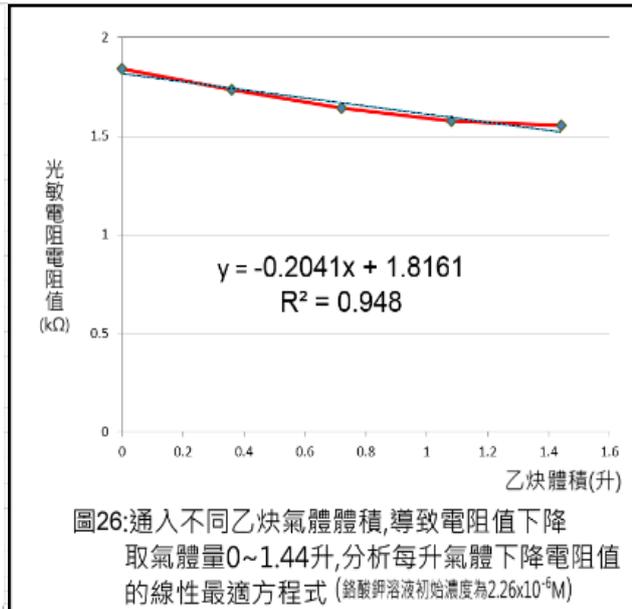
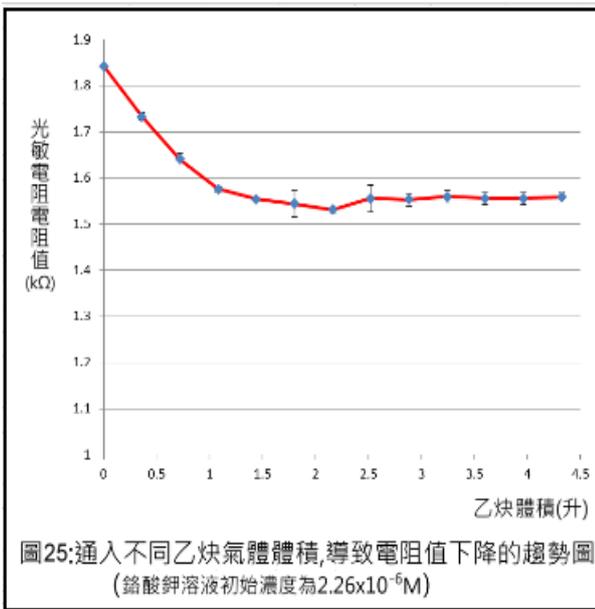
表 05：高濃度鉻酸鉀濃度的加入，會造成作圖的線性相關係數平方值下降

實驗設計		1 無蓋無攪拌	2 有蓋無攪拌	3 有蓋有攪拌	4 有蓋有攪拌有打氣
濃度範圍 鉻酸鉀濃度 對 電阻值作圖	$0 \sim 1.13 \times 10^{-3} \text{M}$	0.9464	0.8384	0.9179	0.9134
	$0 \sim 1.13 \times 10^{-4} \text{M}$	0.9699	0.9740	0.9753	0.9755

(三)自製「行動式 420nm 紫光雷射光度計」搭配薄膜幫浦氣體收集裝置，進行乙炔輸入氣體量與光敏電阻值下降程度的關係測試。觀察氣體量與光敏電阻值下降的程度是否有線性關係。(鉻酸鉀初始濃度為 $2.26 \times 10^{-6} \text{M}$ 溶液量為 400ml)

1.實驗結果：

打入乙炔體積 (公升)	0	0.36	0.72	1.08	1.44	1.8	2.16	2.52	2.88	3.24	3.6	3.96	4.32
測量60次(秒)光敏電阻電阻平均值(kΩ)	1.8423	1.7333	1.6408	1.5759	1.5537	1.5441	1.5315	1.5559	1.5534	1.5592	1.5558	1.5555	1.5586
測量60次(秒)光敏電阻電阻標準差(kΩ)	0.0022	0.0075	0.0131	0.0059	0.0038	0.0295	0.0067	0.0289	0.0139	0.0143	0.0133	0.0126	0.0098



2.討論與分析：

由圖 25 與圖 26 可知，在通入乙炔氣體體積 0~1.44 升後，電阻值有明顯地下降，但在通入超過 1.44 升的乙炔後，電阻值下降並沒有明顯的差異。經對照鉻酸鉀與光敏電阻檢量線(電阻值= $57044 \times$ 鉻酸鉀溶液濃度+ 1.5389)後發現：通入超過 1.44 升的乙炔後，鉻酸鉀溶液濃度應該以接近 0(或達到氧化還原平衡)，之後氣體的打人才無法造成電阻值的下降。選擇 0 至 1.44 升輸入氣體量與電阻值，由電腦計算最適方程式，得知在薄膜式輸氣幫浦輸氣速率為 12.53ml/s，每次打入 0.36 公升的乙炔的條件下，通入乙炔氣體每增加 1 公升，電阻值下降 $0.2041 \text{k}\Omega$ ，線性相關係數平方為 0.948。經過換算後可得知：每 1 公升的乙炔氣體會消耗 $1.43 \times 10^{-6} \text{mole}$ 的鉻酸根離子。

(四)在驗證新設計裝置效果後，將研究結果實際應用到空汙或有惡臭環境的現場，藉由測量出的光敏電阻值下降程度，找尋汙染源。

1.學校教室旁餐廳上午時間總是飄出油煙與菜香混合的氣味，已透過學校總務處反應數次，得到的答案總是”已加裝油煙處理系統”，故若以本研究發明的「行動式420nm 紫光雷射光度計」進行測試，越接近油煙產生處，預計鉻酸鉀溶液濃度因反應而下降越多，光敏電阻值也會隨之下降。越近油煙或油煙越濃，光敏電阻值對吸氣時間作圖，最適方程式斜率應該會往負值變大。

2.研究設定：

(1)薄膜輸氣幫浦輸氣速率為 12.53ml/s，輸入時間 5 分鐘，共計通入 3.76 公升氣體。

(2)鉻酸鉀初始濃度為 $10^{-4}M$ ，溶液量為 400ml，其他裝置設定相同。



圖 27：異味油煙偵測環境與實際抽氣測量

3.研究結果：

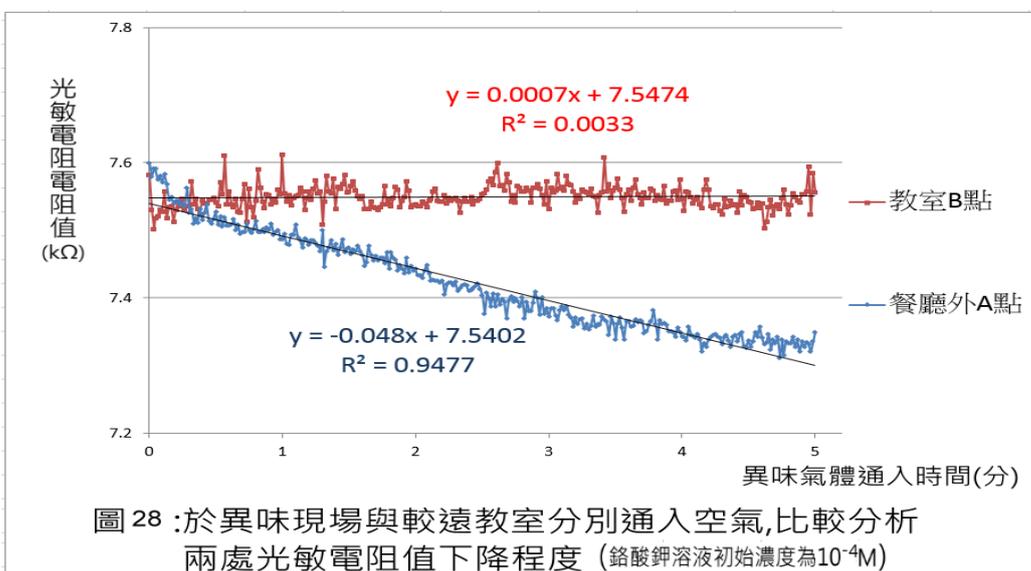


圖 28：於異味現場與較遠教室分別通入空氣，比較分析兩處光敏電阻值下降程度（鉻酸鉀溶液初始濃度為 $10^{-4}M$ ）

- 4.討論與分析：由圖 11 可知，餐廳外 A 點的氣體通入時間每增加 1 分鐘，電阻值下降 0.048 kΩ，相關係數平方為 0.9477，氣體通入時間與電阻值有線性高度相關。鉻酸鉀溶液的確氧化了氣體內含物質(可還原性成分)，而教室 B 點對照組的電阻值則是每分鐘上升 0.0007 kΩ，相關係數平方為 0.0033，氣體通入時間與電阻值為零相關，鉻酸鉀溶液未反應。
5. 空氣中的有機氣體(或是還原性氣體)，會隨著不同的污染源而有不同種類，具可燃性的會累積濃度而最後遇到火源產生爆炸。具毒性的會讓人因為長期接觸而產生病變。具臭味的會讓人覺得生活品質變差。高雄是一個工業都市，從港邊輸送到工業區的氣體，交通工具與各工廠自行製造的氣體，都有可能瀰漫在這個城市當中，所以發生了氣爆、中毒與種種的空氣污染事件。本研究使用鉻酸鉀溶液作為氧化劑，成功的檢驗出二氧化硫、乙炔與廚房產生油煙的存在，並有統計數據上的佐證。而整個裝置組裝起來不會超過 7000 元(不計筆記型電腦)。更重要的是它是一個行動裝置，可以直接移到空汙現場去偵測電阻值的下降程度，來立即判斷區域性空氣污染的嚴重性，這個裝置已經在初步的實驗當中獲得了成功，要如何接下來更進一步地在各種不同的氣體污染物的考驗下，證明它的有效性，就是下一步要進行的工作了。

陸、結論

- 一.鉻酸鉀與二鉻酸鉀 UV 光譜的複雜性，牽涉到反應物濃度高低、化學平衡與酸鹼值的變化，本研究發現會有三個吸收光譜特徵波長出現在這個系統內：
- (一)在酸性與二鉻酸鉀溶液濃度高的時候，最高的吸收峰波長在 350nm，濃度提高會導致吸收峰變高變寬(超過 500nm)，而使溶液顏色變為橘紅。
- (二)在微酸到鹼性範圍內，最高的吸收峰波長在 372nm，溶液顏色維持黃色。
- (三)在濃度 10^{-4} M 以下的鉻酸鉀溶液中，會有 364nm 的吸收峰出現，但這個吸收峰明顯不穩定，打入二氧化硫與乙炔氣體與長時期的打入空氣，都會讓這個吸收峰轉變為 372nm，不管是鉻酸鉀或二鉻酸鉀，372nm 是低濃度(10^{-4} M 以下)，接近 pH=7 時的唯一吸收峰。
- (四)低濃度的二鉻酸鉀與鉻酸鉀溶液，濃度與吸光度的關係都呈現非常高度的線性相關。不受平衡影響，本研究最終選擇低濃度的鉻酸鉀溶液作為偵測還原性氣體的研究對象。研究濃度則定在吸光度 <1 的濃度(8×10^{-4} M)以下的範圍。

- 二.將不同濃度二氧化硫氣體灌入鉻酸鉀溶液中，得到二氧化硫體積百分率濃度與鉻酸鉀特徵吸收波長吸光度下降，有高度線性相關。最適直線方程式為： $\text{吸光度} = -0.2362 \times (\text{二氧化硫體積百分率濃度}) + 0.4472$ ，也推導出二氧化硫氣體濃度偵測極限為 1.69%。環保署對二氧化硫的最高檢測標準為 300ppm，遠小於本研究獲得的最低偵測極限。鉻酸鉀溶液氧化測量二氧化硫濃度的方法，並不是偵測的好方法。
- 三.將不同濃度乙炔氣體灌入鉻酸鉀溶液中，得到乙炔體積百分率濃度與鉻酸鉀特徵吸收波長吸光度的下降，有高度線性相關。最適直線方程式為： $\text{吸光度} = -0.146 \times (\text{乙炔體積百分率濃度}) + 0.4492$ ，並推導出乙炔氣體偵測極限為 2.74%，數值非常接近乙炔在空氣中的爆炸極限 2.2%，若能對鉻酸鉀溶液氧化偵測方法做出實驗裝置的修正與改良，應該有機會把這個方法當成偵測有機氣體是否發生爆炸的一個指標。
- 四.在教室內，打入空氣進入鉻酸鉀溶液 72 小時，並未能發現溶液有吸光度下降現象，
- 五.設計自製「行動式 420nm 紫光雷射光度計」，藉由 15cm 的光徑長，可量測到更低溶液濃度。以鉻酸鉀溶液濃度與光敏電阻電阻值作圖，在濃度 10^{-4}M 至零之間，有高度的線性相關： $\text{光敏電阻值} = 57044 \times (\text{鉻酸鉀溶液濃度}) + 1.5309$ ，相關係數平方為 0.9801。
- 六.將 0~1.44 公升的乙炔氣體通入裝置中，統計分析後顯示：乙炔氣體每增加 1 公升，電阻值下降 $0.2041\text{k}\Omega$ ，相關係數平方為 0.948，線性相關明顯。
- 七.將此研究結果實際應用到空汙或有惡臭環境的現場，藉由測量出的光敏電阻上升值，來追尋空汙的源頭，針對廚房油煙，抽氣 5 分鐘，氣體通入時間每增加 1 分鐘，電阻值下降 $0.048\text{k}\Omega$ ，相關係數平方為 0.9477，氣體通入時間與電阻值有線性高度相關，成功偵測空氣中油煙的存在。
- 八.從氧化還原電位的觀點來看：常用的可燃性氣體應該都能被鉻酸鉀溶液氧化。未來本研究設計的方法，是否可以做出各種常用可燃氣體在鉻酸鉀溶液氧化過程當中，吸收度下降與氣體濃度的檢量線，並且把這個檢量線的斜率，當成特徵，用來辨別可燃性氣體的種類與濃度。對高雄這個石化工業城市來說，許許多多的有機氣體管線在市區的地下輸送，沒有人希望 2014 年的氣爆事件再次發生，我們希望這個研究能在氣體偵測上做出貢獻，但這次的研究深度有限，希望以後能再持續的研究下去。

柒、參考資料及其他

- 一、陳思穎、莊宏一、陳震宇、林昭汝 (2009)。The Colors—光與顏色的關係與其在噴墨印表機上的應用。中華民國第 42 屆中小學科學展覽會。台灣國立科學教育館。
- 二、楊博亞、朱正峰、顏珮君、蔡英品 (2013)。片甲不「硫」-二氧化硫的測定法。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會。台灣國立科學教育館。
- 三、趙子揚(2009)。探討植物對甲醛之吸收。高雄市第 49 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、認識分光光度計（一）原理與設計概念（無日期）。台北市。民 109 年 1 月 5 日，取自：
<http://www.actr.com/tw/tw-report/tw-report-technology/335-tw-tech-spectrophotometer-principle-concept.html>
- 五、中華壓力容器協會網站(無日期)。台北市。民 109 年 1 月 5 日，取自。http://www.fsair.com.tw/qt_qt.html
- 六、空氣中二氧化硫自動檢驗方法—紫外光螢光法(無日期)。台北市：環保署。民 109 年 1 月 5 日，取自：<https://oaout.epa.gov.tw/law/Download.ashx?FileID=29946>
- 七、爆炸極限(民 107 年 2 月 28 日)。台北市。民 109 年 1 月 5 日，取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%88%86%E7%82%B8%E6%A5%B5%E9%99%90>
- 八、比爾定律(Beer's Law)的限制(民 100 年 11 月 18 日)。台北市：高瞻計畫自然科學網站。民 109 年 1 月 5 日，取自：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40848>
- 九、鉻體系的 Eh-pH 圖(CT, Cr=10⁻⁴mol/L)(無日期)。環境圖書與資訊網。民 109 年 4 月 15 日，取自：http://www.eh-cloud.com/photo_index/view/47bf5b3e88d645e79f68af38f0628e20

【評語】 050211

以氧化還原方法來測定空氣中的還原氣體，但偵測極限及專一性可能是一個問題，且氣體需溶解於水溶液以發生反應，可能需要高濃度的還原氣體才容易測到，不太實用。

壹.研究動機:

自然界裡還原性氣體的存在，總會帶來困擾。例如二氧化硫會形成酸雨，對動植物與建築物會造成傷害。2014年高雄氣爆是由於丙烯外洩導致，這些石化氣體就正因為它的還原性，才容易和氧氣產生爆炸。我們想找出一種氧化還原反應，針對這些氣體的存在，來檢測它們的濃度，於是就開始了這一次的研究。在高三化學第一章提到，電子吸收能量會由基態(ground state)躍遷至激態(excited state)，並且由普朗克提出的能量公式($E=h\nu=c/\lambda$)得知，當波長越大，所得能量會越少，反之，當波長越小，所得能量會越大。出於好奇，我們查閱了相關資料，得知分光光度計就是利用這個原理，有一篇科展報告即是利用分光光度計進行探討，內容提到鉻酸鉀及二鉻酸鉀在酸性或鹼性中只會表現其中一種型態。恰巧，鉻酸鹽類中鉻的氧化數為+6，是一種強氧化劑。兩種鹽類和還原性氣體之間的關係會是如何?我們先設定了二氧化硫與乙炔進行研究。

貳.研究目的:

本研究希望藉由使用分光光度計偵測鉻酸鉀鹽溶液濃度，藉由高氧化力的鉻酸鉀鹽溶液能與還原性氣體反應的特性，來對二氧化硫與乙炔(還原性氣體與空汙氣體)進行定量，並設計出光度計與氣體收集裝置，進行實際汙染源的偵測。

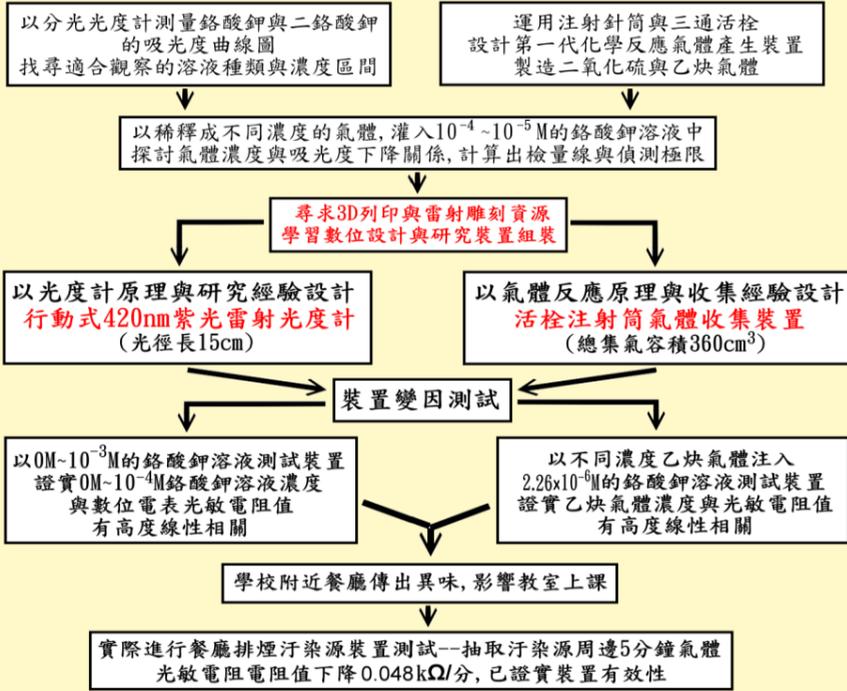
- 一. 研究分光光度計測量鉻酸鉀與二鉻酸鉀的吸光度曲線圖，找尋適合觀察的濃度區間與最大吸收波長。並以不同濃度與測出的最大吸收波長吸光度作圖，完成濃度-吸光度檢量線，以為後續與二氧化硫反應，偵測氣體濃度的定量依據。
- 二. 以國中硫代硫酸鈉與鹽酸的反應，設計二氧化硫氣體產生裝置，以碳化鈣與水的反應設計乙炔氣體產生裝置。以空氣稀釋使這些還原性氣體具有不同濃度，將其灌入鉻酸鉀溶液中，以分光光度計吸光度的測量值與二氧化硫、乙炔還原性氣體濃度作圖，完成兩種氣體濃度-鉻酸鉀吸光度檢量線。二氧化硫為空氣中常見的汙染物，乙炔氣體有爆炸性。觀察是否能準確測量由空氣稀釋後的這些氣體濃度。
- 三. 實際將空氣長時間的打入鉻酸鉀溶液中，觀察是否能以長時間的累積空氣中還原性氣體的量，造成鉻酸鉀溶液吸光度(濃度)的下降。
- 四. 設計自製「行動式420nm紫光雷射光度計」與 搭配薄膜式幫浦的活栓注射筒氣體收集裝置，經過定量鉻酸鉀濃度與乙炔氣體輸入量測試裝置效果後，將研究結果實際應用到空汙或有惡臭環境的現場，藉由測量出的鉻酸鉀吸光度下降(光敏電阻上升)值，找尋汙染源。

參.研究設備與器材:

詳見說明書

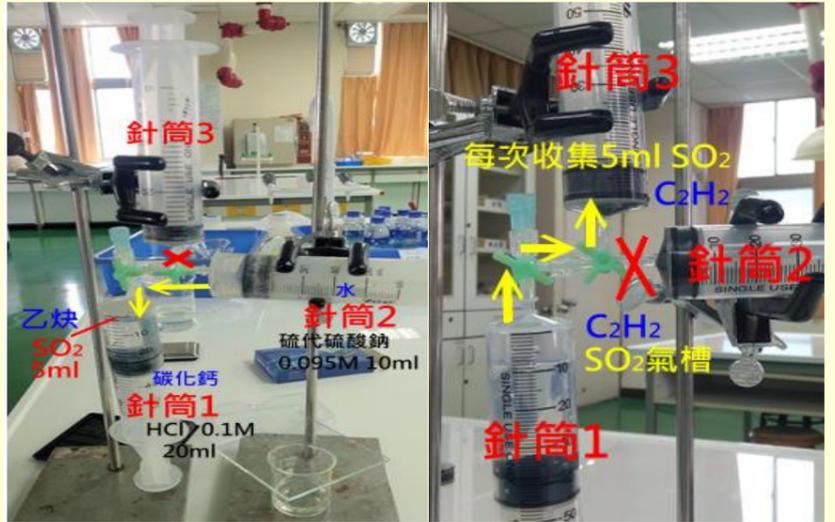
肆.研究原理與方法:

一. 研究架構:



三. 製備二氧化硫與乙炔氣體:

1. 第一代:三通針筒活栓集氣裝置:



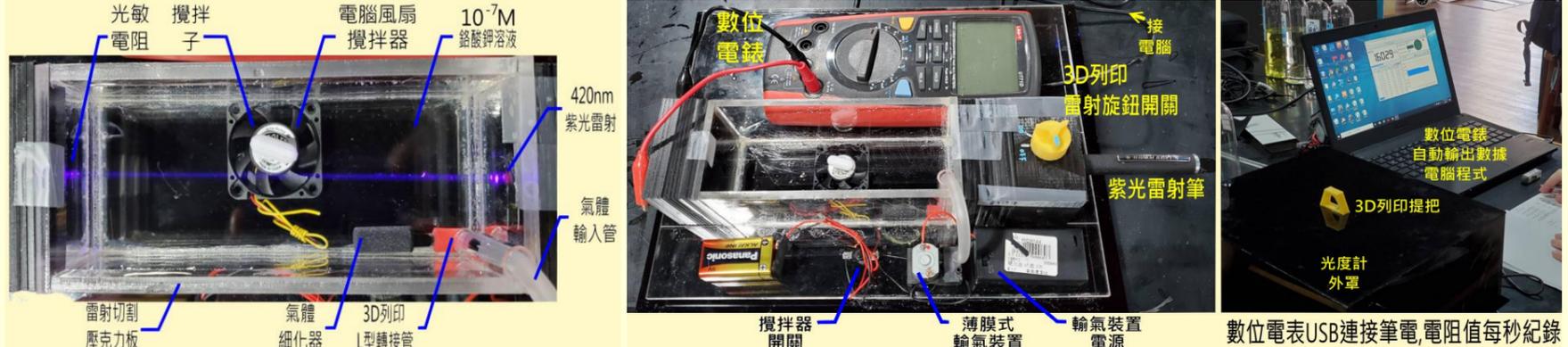
2. 第二代:搭配薄膜式幫浦的活栓注射筒氣體收集裝置



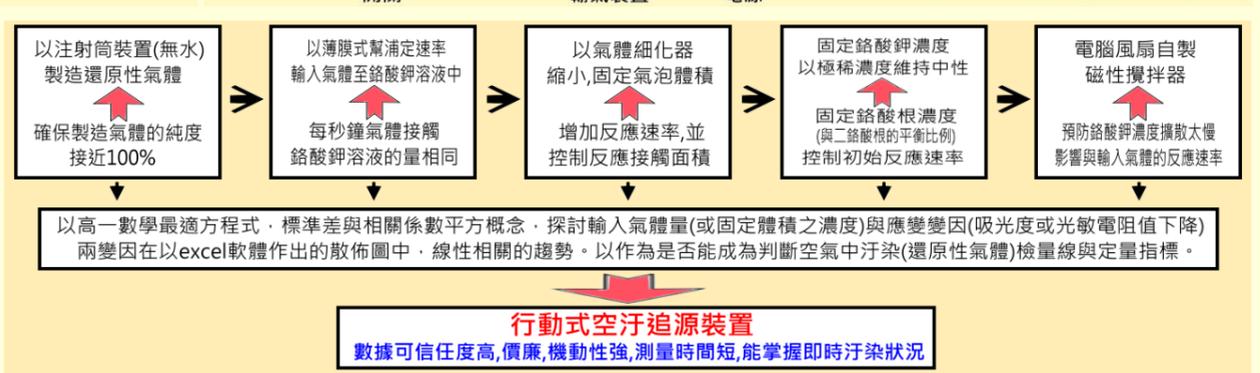
二. 研究原理與對象:

- (一) 以分光光度計測量鉻酸鉀鹽類溶液吸收度
- (二) 鉻酸鉀與二鉻酸鉀水中易溶，會達成兩種鉻酸鹽類離子的平衡。
$$2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$$
- (三) 硫代硫酸鈉加酸製備二氧化硫：
$$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{SO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} + \text{S} \downarrow$$
$$\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{HSO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}^+$$
- (四) 碳化鈣加水可製備乙炔：
$$\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \uparrow + \text{Ca}(\text{OH})_2$$

四. 新創裝置:以行動式420nm紫光雷射光度計進行反應，以氣體細化器增加反應接觸面積。以電腦風扇磁性攪拌器與攪拌子，將溶液攪勻。

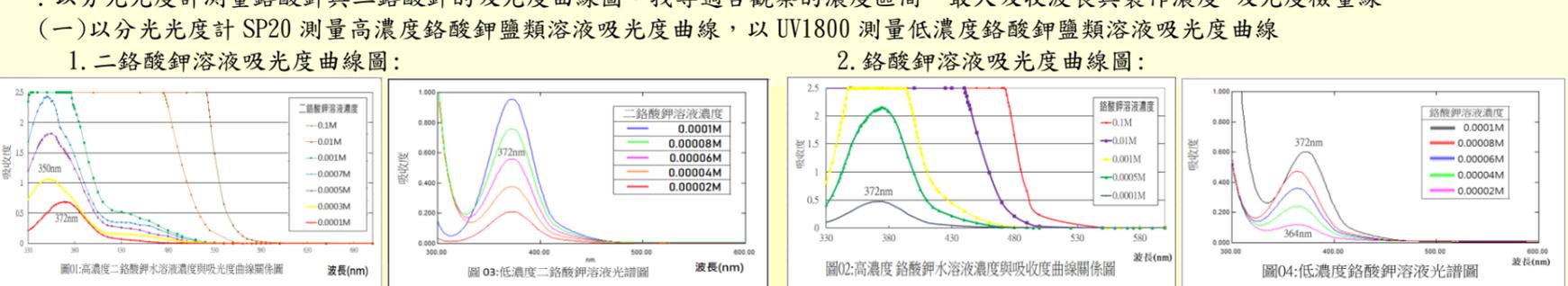


五. 研究預期目標:空氣中的還原性氣體種類很多，有些造成空氣汙染，有些有潛在爆炸危險，這次研究先選擇能簡易製造出的二氧化硫與乙炔作為研究對象。鉻酸鹽類的氧化能力是否能成為一種定量氣體濃度方法，是我們想了解的目標。但氣體濃度的檢量線必須實驗成功獲得，才能再開始進行創新裝置與實際運用的進一步研究。

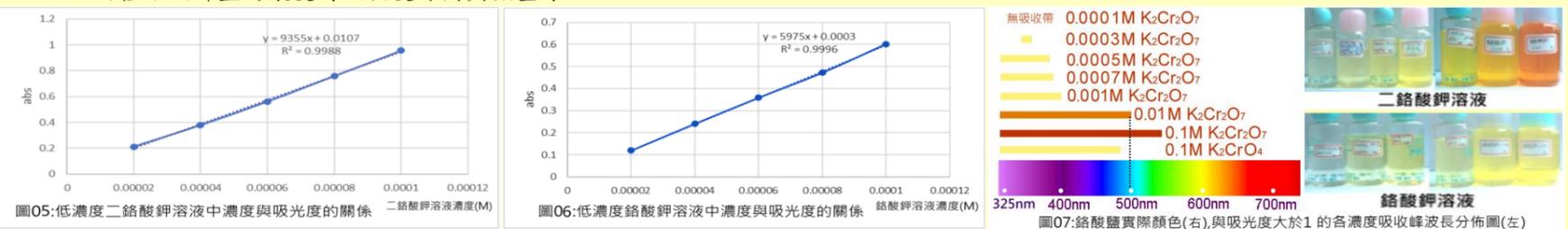


伍.研究結果與討論:

一. 以分光光度計測量鉻酸鉀與二鉻酸鉀的吸光度曲線圖，找尋適合觀察的濃度區間、最大吸收波長與製作濃度-吸光度檢量線



3. 兩種鉻酸鉀鹽的濃度對吸收度作圖與檢量線



- 濃度與吸光度有高度正相關，兩種溶液在高濃度有明顯色彩變化(橘-黃-無色)，但在 $10^{-4}M$ 濃度以下皆為淡黃色，肉眼無法區別。二鉻酸鉀高濃度(0.1-0.01M)呈現橘色，應是吸收峰寬度大量跨躍 500nm 波長以上光譜區域所導致(如圖 07)。二鉻酸鉀吸收峰特徵在高濃度(酸性)時出現(350nm)。
- 低濃度鉻酸鉀與二鉻酸鉀溶液在 $1.0 \times 10^{-4}M$ 至 $2.0 \times 10^{-5}M$ 濃度間，最大吸收峰波長位於 363-372nm 處。低濃度時溶液已接近中性，二種鹽類吸收峰特徵趨近相同。
- 1×10^{-4} 至 $2.0 \times 10^{-5}M$ 濃度間，兩種鹽類濃度對吸收度作圖所得到的檢量線方程式如下:(如圖 01~06)

鉻酸鉀溶液: 吸收度 = $5975 \times (\text{濃度}) + 0.0003$ 二鉻酸鉀溶液: 吸收度 = $9355 \times (\text{濃度}) + 0.0107$

同濃度下，二鉻酸鉀吸光度皆高於鉻酸鉀(水解)，但非為預測完全分裂(各濃度平均為 83.1%)。顯示 pH6.33-6.98 的溶液中:二鉻酸根離子的分裂並不完全。

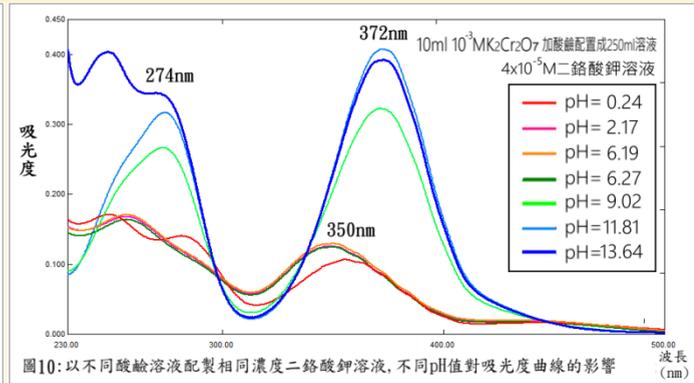
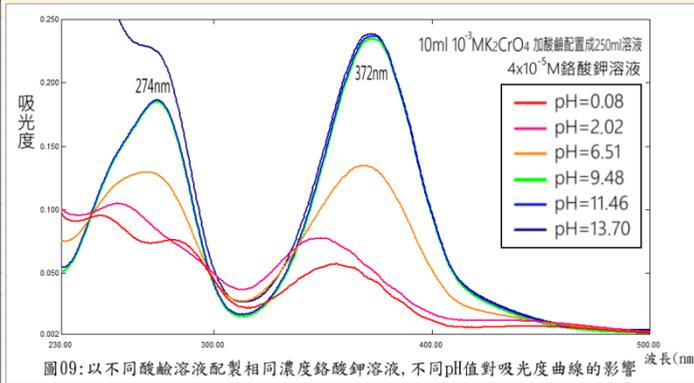
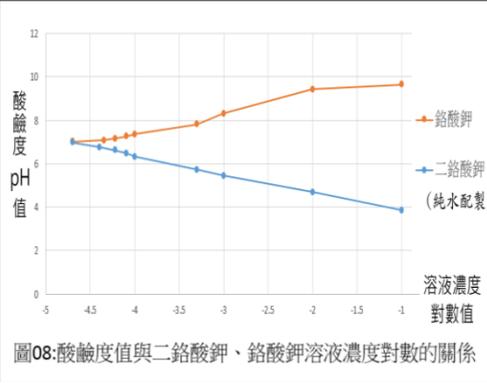
4. 酸鹼度值與二鉻酸鉀、鉻酸鉀水溶液濃度的關係

表一:實際測量以純水配置的鉻酸鉀與二鉻酸鉀溶液酸鹼度值

以純水配置 鉻酸鉀、二鉻酸鉀溶液濃度(M)	1.0E-01	1.0E-02	1.0E-03	5.0E-04	1.0E-04	8.0E-05	6.0E-05	4.0E-05	2.0E-05
濃度對數	-1.000	-2.000	-3.000	-3.301	-4.000	-4.097	-4.222	-4.347	-4.699
鉻酸鉀溶液 pH 值	9.64	9.42	8.31	7.82	7.35	7.25	7.15	7.08	7.02
二鉻酸鉀溶液 pH 值	3.85	4.69	5.44	5.72	6.33	6.48	6.62	6.75	6.98

表二:以酸鹼溶液配製不同酸鹼度，相同濃度鉻酸鉀溶液，以平衡常數計算二鉻酸鉀濃度

鉻酸根起始濃度	0.00004M	鉻酸根、二鉻酸根平衡常數				4.2E+14
pH 值	0.08	2.02	6.52	9.48	11.46	13.69
[H ⁺](M)	8.32E-01	9.55E-03	3.02E-07	3.31E-10	3.47E-12	2.04E-14
計算二鉻酸根離子濃度(M)	1.99999E-05	1.99886E-05	6.09100E-08	7.36834E-14	8.07950E-18	2.80136E-22



- 高濃度的鉻酸鉀溶入水中，會搶走水中的氫離子，使水解離，放出的氫氧根離子會使水溶液變成鹼性。高濃度的二鉻酸鉀溶入水中，會搶走水中的氫氧根離子，使水解離，放出的氫離子會使水溶液變成酸性(如表一，圖 08)。



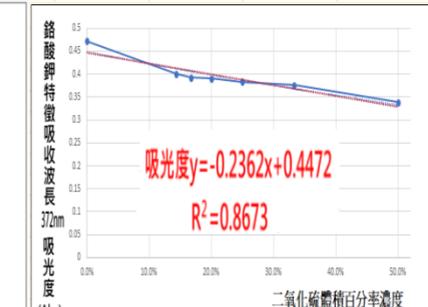
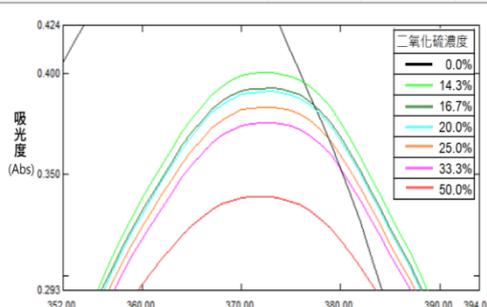
- 濃度越低，酸鹼度愈接近中(鹼)性，吸收峰波長全位於 372nm 處，為鉻酸根的特徵波長，二鉻酸根、鉻酸根主要都轉變成鉻酸根離子的型態穩定存在(如圖 09-10)。
- 以鉻酸鉀配製溶液可使 pH 值維持在 7 以上，依平衡常數計算，此時平衡移動產生的二鉻酸根濃度極低，化學平衡對偵測還原性氣體濃度的干擾可被忽略(如表二)。

5. 要作為還原性氣體的偵測工具，適合本研究的溶液種類與濃度區間(吸光度 < 1)為鉻酸鉀， $8.0 \times 10^{-5}M$ 以下的範圍。

二. 將 SO₂ 與 C₂H₂ 灌入 $8.0 \times 10^{-5}M$ 鉻酸鉀溶液中，以吸光度測量值與氣體體積百分率濃度作圖，完成氣體濃度-鉻酸鉀吸光度檢量線。(每次灌入 10ml，每種濃度灌入 10 次)。

(一) 二氧化硫(易溶於水的還原性氣體)

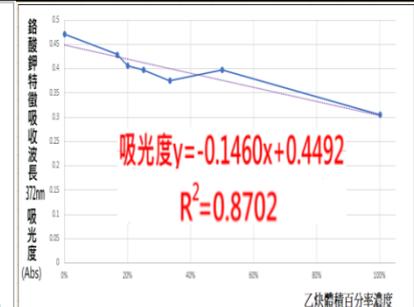
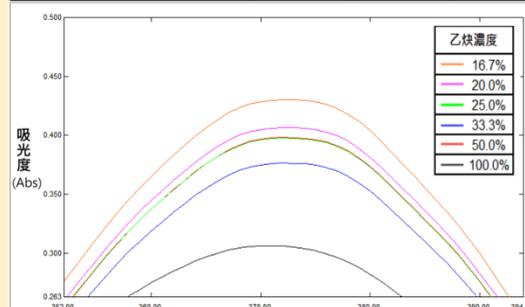
二氧化硫濃度	0.0%	14.3%	16.7%	20.0%	25.0%	33.3%	50.0%
最高吸收峰之波長(nm)	364	373	373	373	373	373	371
最大吸光度(Abs)	0.472	0.400	0.393	0.391	0.383	0.376	0.339



二氧化硫濃度每上升 1%，吸光度下降 0.002362Abs

(二) 乙炔(難溶於水的還原性氣體)

乙炔濃度	0.0%	16.7%	20.0%	25.0%	33.3%	50.0%	100.0%
最高吸收峰波長(nm)	364	373	373	373	373	373	371
最大吸光度(Abs)	0.472	0.430	0.407	0.398	0.376	0.398	0.306



乙炔濃度每上升 1%，吸光度下降 0.001460Abs

- 在 $8.0 \times 10^{-5}M$ 鉻酸鉀溶液中灌入二氧化硫與乙炔氣體，都可以觀察到不同氣體體積百分率濃度會造成鉻酸鉀溶液吸光度不同程度的下降(如圖 11, 13)，灌入的氣體濃度都和鉻酸鉀特徵吸收波長(372nm)吸光度下降，有高度的線性相關(R^2 都在 0.85 以上)(如圖 12, 14)。基於這種結果，本研究進一步由兩種氣體的濃度與吸光度線性最適方程式，來計算這兩種氣體在鉻酸鉀溶液偵測方法中的偵測極限為何?

1. UV1800 分光光度計(如圖 15)說明書所記載的儀器吸光度準確度與再現性:

Photometric Accuracy	± 0.002 Abs (at 0.5 Abs), ± 0.004 Abs (at 1 Abs), ± 0.006 Abs (at 2 Abs); Tested by using NIST930D or NIST1930, or other appropriate standard filter.
Photometric Repeatability	0.001 Abs or less (at 0.5 Abs), 0.001 Abs or less (at 1 Abs), 0.003 Abs or less (at 2 Abs)

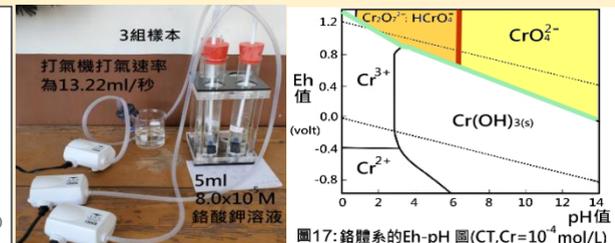
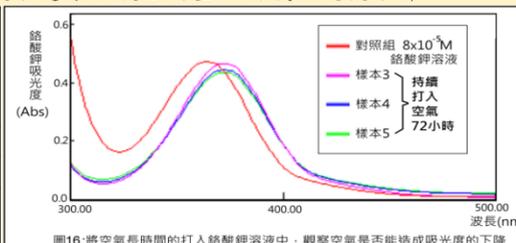
2. 氣體偵測極限計算:(灌入 15ml、 $8.0 \times 10^{-5}M$ 鉻酸鉀溶液中，每次灌入 10ml，每種濃度灌入 10 次)。

$$\frac{\text{氣體濃度偵測極限}}{\text{photometric Accuracy } (\pm 0.004)} = \frac{100\% \text{ 濃度}}{\text{氣體濃度-吸光度線性方程式斜率值}}$$

3. 兩種氣體在鉻酸鉀溶液偵測方法中的偵測極限: 二氧化硫為 1.69%; 乙炔為 2.74%

三. 將空氣長時間的打入鉻酸鉀溶液中，觀察是否能以長期累積空氣中還原性氣體的量，造成吸光度下降

實驗 72 小時 每秒打氣 13.22ml, 共計打入 3426.6 公升的空氣	吸收度曲線 最大吸收度 波長(nm)	吸光度	依線性方程式 $y = -0.2362x + 0.4472$ 換算成相當於 二氧化硫濃度
樣本 3, 打空氣 72 小時	372	0.465	-7.54%
樣本 4, 打空氣 72 小時	372	0.444	1.35%
樣本 5, 打空氣 72 小時	373	0.435	5.17%
平均值		0.448	-0.34%



- 經過 72 小時，將走廊空氣打入鉻酸鉀溶液，輸入體積是做檢量線時的三萬多倍，但相當於二氧化硫的還原性氣體三次實驗平均還是接近 0，這表示空氣中的還原性氣體濃度很少(如圖 16)。從另外一個角度來說，由於空氣中五分之一是氧氣，有這多量的氧化劑存在，還原性氣體能夠存在的量，本來應該就是很少才是。
- 對二氧化硫來說，我國環保署固定污染源空氣污染物排放標準⁽⁶⁾，在排放的管道附近的限制標準是 100 到 300ppm(0.01~0.03%)，在周界(一般區域)的允許濃度是 0.3ppm。這樣的檢測標準不是本研究用鉻酸鉀這個方法(偵測極限 1.69%)能夠達到的。國家公告的二氧化硫含量測定方法為代號 NIEA A416.13C 的紫外光螢光法，是利用波長介於 190~230 nm 之紫外光來激發二氧化硫分子，再測量其降回基態時所發出之 350nm 螢光強度，來測定空氣中二氧化硫的濃度。這方法適用於空氣中濃度 0~500ppb 二氧化硫含量測定。我國固定污染源空氣污染物排放標準所列汙染物濃度標準均在 500ppm 以下，這不是鉻酸鉀這個方法可以處理的範圍。
- 對乙炔來說，我國環保署並未明定排放標準。但在中華壓力容器協會網站⁽⁵⁾中記載:乙炔是可燃易爆氣體，在空氣中的爆炸極限為 2.5%~81%，與氧氣混合時為 2.8%~93%，本研究在鉻酸鉀溶液偵測方法(100ml 的氣體輸入)中，乙炔的偵測極限為 2.74%。若能再一步改良輸入氣體的量與裝置(如:加裝氣體細化器，增加反應接觸面積等)，應該能降低偵測極限，使鉻酸鉀溶液偵測方法更為有效。

四、設計自製「420nm 紫光雷射光度計」(如圖 18)，將研究實際應用到空汙或惡臭環境現場，藉由測量出的光敏電阻上升值，找尋汙染源。

- 設計概念:以分光光度計(UV1800)來作為偵測空氣中汙染物的方法，結果得到的偵測極限過高，因此設計新的光度計，嘗試加入能將偵測極限降得更低的概念。根據比爾定律:光徑長愈長，能夠偵測的溶液濃度越低，故使用雷射雕刻切割，組裝出 15 公分光徑長的比色槽，比原來的比色管多了 15 倍。光徑長增加，就可以有足夠空間在比色槽裡進行反應，為使反應物碰撞機率增加，反應更完全。就在比色槽裡加裝了磁石攪拌器與氣體細化器輸入裝置。立即反應立即測量，在實驗時間上改良了分光光度計(UV1800)的缺點。420nm 紫光雷射光源與光敏電阻、UT-71D 三用電錶搭配後，形成光強度偵測組件。



圖 18: 行動式空汙追源裝置-420nm 紫光雷射光度計(中)與薄膜幫浦注射筒氣體收集裝置(右)

(二)自製「行動式 420nm 紫光雷射光度計」進行不同鉻酸鉀濃度與光敏電阻值關係測試。實驗設定分成四組(如表三)，探討裝置設定是否會對不同濃度的鉻酸鉀吸光度造成影響，鉻酸鉀濃度是否與光敏電阻值有高度線性相關的檢量線(如表四)。

表三:測量光敏電阻值與鉻酸鉀濃度關係的四種不同裝置設定

裝置設定	標準差	遮斷外界光源(加蓋) (外界燈光是否影響吸光度)	磁石攪拌 (攪拌是否影響吸光度)	氣體細化器打入空氣 (氣泡是否影響吸光度)
1	0.023	×	×	×
2	0.010	○	×	×
3	0.010	○	○	×
4	0.006	○	○	○
結果判定		外界燈光會影響吸光度	攪拌影響吸光度少	氣泡影響吸光度少

表四:不同的鉻酸鉀濃度，在自製光度計內，以數位電表各測量 31 次光敏電阻值

鉻酸鉀溶液濃度(M)	1.13E-03	6.22E-04	1.13E-04	5.65E-05	1.13E-05	5.65E-06	1.13E-06	5.65E-07	1.13E-07	5.65E-08	0
1 無蓋無攪拌	331.7658	278.0861	8.0600	3.8502	1.6725	2.1564	1.6280	1.6085	1.7644	1.2570	1.5468
2 有蓋無攪拌	2465.7742	282.8348	8.3457	3.9623	2.2501	1.7399	1.7132	1.6790	1.6011	1.5700	1.5091
3 有蓋有攪拌	2523.2323	2338.3323	8.3564	3.9854	2.2162	1.7849	1.7583	1.6982	1.6593	1.5720	1.4969
4 有蓋有攪拌有打氣	2680.9645	2522.9258	8.3678	3.9987	2.2891	1.8052	1.7621	1.7001	1.6670	1.5594	1.4730
2,3,4測量31次平均值	2556.6570	1714.6976	8.3566	3.9821	2.2518	1.7767	1.7445	1.6924	1.6425	1.5671	1.5064
2,3,4測量31次標準差	111.4210	1243.4597	0.0111	0.0184	0.0365	0.0334	0.0272	0.0117	0.0360	0.0068	0.0184

1. 無加蓋造成歧光現象;高濃度鉻酸鉀溶液會改變折射率，導致其吸收係數的改變影響吸光度。排除這兩項因素:取第 2, 3, 4 組做平均，將濃度限定在 0 至 10^{-4} M，可以得出高度線性關係圖(如圖 19):當鉻酸鉀濃度每上升 10^{-4} M 時，其光敏電阻值上升 5.7044kΩ。
2. 由於線性關係良好，本研究設計的光度計光徑長為 UV1800 的 15 倍，依比爾定律，吸光度可以放大 15 倍，可以低到 10^{-8} M 數量級，提升準確性。

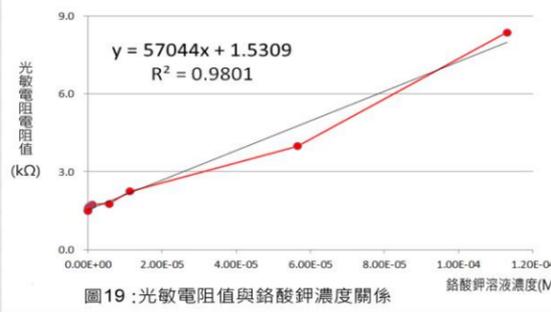
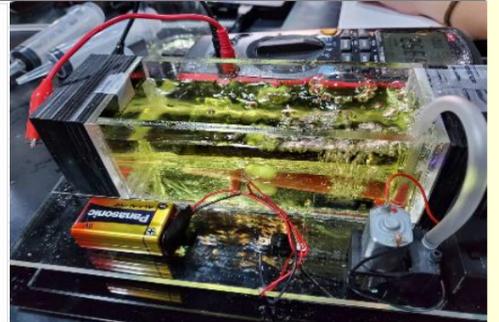


圖 19:光敏電阻值與鉻酸鉀濃度關係



(三)自製「行動式 420nm 紫光雷射光度計」搭配薄膜幫浦氣體收集裝置，進行乙炔輸入氣體量與光敏電阻值下降程度的關係測試。觀察氣體量與光敏電阻值下降的程度是否有線性關係。(鉻酸鉀初始濃度為 2.26×10^{-6} M 溶液量為 400ml)

打入乙炔體積 (公升)	0	0.36	0.72	1.08	1.44	1.8	2.16	2.52	2.88	3.24	3.6	3.96	4.32
測量 60 次(秒)光敏電阻電阻平均值(kΩ)	1.8423	1.7333	1.6408	1.5759	1.5537	1.5441	1.5315	1.5559	1.5534	1.5592	1.5558	1.5555	1.5586
測量 60 次(秒)光敏電阻電阻標準差(kΩ)	0.0022	0.0075	0.0131	0.0059	0.0038	0.0295	0.0067	0.0289	0.0139	0.0143	0.0133	0.0126	0.0098

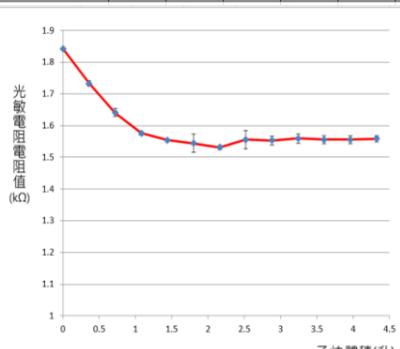


圖 20:通入不同乙炔氣體體積,導致電阻值下降的趨勢圖(鉻酸鉀溶液初始濃度為 2.26×10^{-6} M)

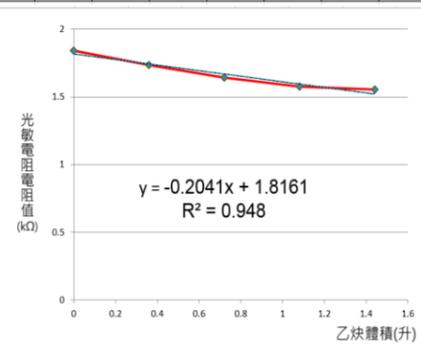


圖 21:通入不同乙炔氣體體積,導致電阻值下降取氣體量 0~1.44 升,分析每升氣體下降電阻值的線性最適方程式(鉻酸鉀溶液初始濃度為 2.26×10^{-6} M)

討論:由圖 20 與圖 21 可知，在通入乙炔氣體體積 0~1.44 升後，電阻值有明顯地下降，但在通入超過 1.44 升的乙炔後，電阻值下降並沒有明顯的差異。經對照鉻酸鉀與光敏電阻檢量線(電阻值 = $57044 \times$ 鉻酸鉀溶液濃度 + 1.5389)後發現：通入超過 1.44 升的乙炔後，鉻酸鉀溶液濃度應該已接近 0(或達到氧化還原平衡)，之後氣體的打入才無法造成電阻值的下降。選擇 0 至 1.44 升輸入氣體量與電阻值，由電腦計算最適方程式，得知在薄膜式輸氣幫浦輸氣速率為 12.53ml/s，每次打入 0.36 公升的乙炔的條件下，通入乙炔氣體每增加 1 公升，電阻值下降 0.2041kΩ，線性相關係數平方為 0.948。經過換算後可得知：每 1 公升的乙炔氣體會消耗 1.43×10^{-6} mole 的鉻酸根離子。

(四)將研究結果實際應用到空汙或有惡臭環境的現場(圖 22)，藉由測量出的光敏電阻值下降程度，找尋汙染源。研究設定為：(1)薄膜輸氣幫浦輸氣速率為 12.53ml/s，輸入時間 5 分鐘，共計通入 3.76 公升氣體。(2)鉻酸鉀初始濃度為 10^{-4} M，溶液量為 400ml。



圖 22:異味油煙偵測環境與實際抽氣測量

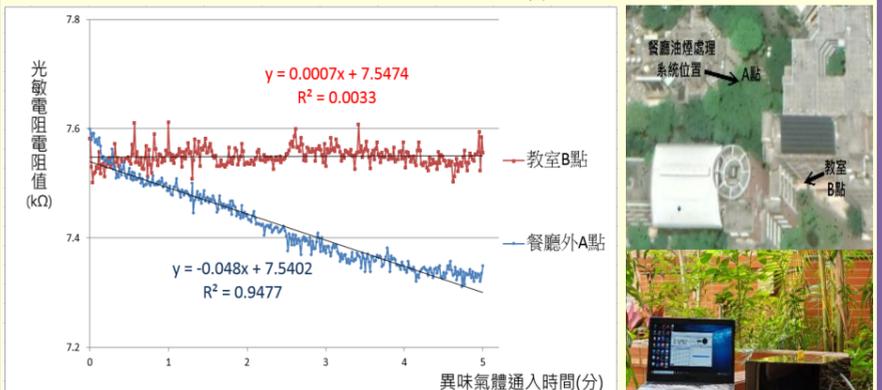


圖 23:於異味現場與較遠教室分別通入空氣,比較分析兩處光敏電阻值下降程度(鉻酸鉀溶液初始濃度為 10^{-4} M)

討論:由圖 23 可知，餐廳外 A 點的氣體通入時間每增加 1 分鐘，電阻值下降 0.048 kΩ，相關係數平方為 0.9477，氣體通入時間與電阻值有線性高度相關。鉻酸鉀溶液氧化了氣體內物質，5 分鐘內消耗 1.68×10^{-6} mole 的鉻酸根離子。而教室 B 點對照組的電阻值則是每分鐘上升 0.0007 kΩ，相關係數平方為 0.0033，氣體通入時間與電阻值為零相關，鉻酸鉀溶液未反應。

5. 空氣中的有機(還原性)氣體，會隨著不同的污染源而有不同種類，具可燃性的會累積濃度而最後遇到火源產生爆炸。具毒性的會讓人因為長期接觸而產生病變。具臭味的會讓人覺得生活品質變差。高雄是一個工業都市，從港邊輸送到工業區的氣體，交通工具與各工廠自行製造的氣體，都有可能瀰漫在這個城市當中，所以發生了氣爆、中毒與種種的空氣污染事件。本研究使用鉻酸鉀溶液作為氧化劑，成功的檢驗出二氧化硫、乙炔與廚房產生油煙的存在，並有統計數據上的佐證。而整個裝置組裝起來不會超過 7000 元(不計筆記型電腦)。更重要的是它是一個行動裝置，可以直接移到空汙現場去偵測電阻值的下降程度，來立即判斷區域性空氣污染的嚴重性，這個裝置已經在初步的實驗當中獲得了成功，要如何接下來更進一步地在各種不同的氣體污染物的考驗下，證明它的有效性，就是下一步要進行的工作了。

陸.結論:

- 一. 鉻酸鉀與二鉻酸鉀 UV 光譜複雜，牽涉到反應物濃度高低、化學平衡與酸鹼度的變化，本研究發現會有數個吸收光譜特徵波長在這個系統內：
 - (一)在酸性與二鉻酸鉀溶液濃度高的時候，最高吸收峰波長在 350nm，濃度提高會導致吸收峰變高變寬，而使溶液顏色變為橘紅。
 - (二)無論是鉻酸鉀或二鉻酸鉀，在中性到鹼性範圍內，最高的吸收峰波長在 372nm(與 274nm)，溶液顏色維持黃色。依化學平衡常數計算:只要 $\text{pH} > 7$ ，二鉻酸根濃度為鉻酸根濃度的 0.17% 以下，二鉻酸根吸收光譜特徵波長消失。
 - (三)低濃度的二鉻酸鉀與鉻酸鉀溶液，濃度與吸光度的關係都呈現非常高度的線性相關。不受平衡影響，本研究最終選擇低濃度的鉻酸鉀溶液作為偵測還原性氣體的研究對象。研究濃度則定在吸光度 < 1 的濃度 (8×10^{-4} M) 以下的範圍。
- 二. 將不同濃度二氧化硫氣體灌入鉻酸鉀溶液中，得到二氧化硫體積百分率濃度與鉻酸鉀特徵吸收波長吸光度下降，有高度線性相關。最適直線方程式為： $\text{吸光度} = -0.2362 \times (\text{二氧化硫體積百分率濃度}) + 0.4472$ ，也推導出二氧化硫氣體濃度偵測極限為 1.69%。環保署對二氧化硫的最高檢測標準為 300ppm，遠小於本研究獲得的最低偵測極限。鉻酸鉀溶液氧化測量二氧化硫濃度的方法，並不是偵測的好方法。
- 三. 將不同濃度乙炔氣體灌入鉻酸鉀溶液中，得到乙炔體積百分率濃度與鉻酸鉀特徵吸收波長吸光度的下降，有高度線性相關。最適直線方程式為： $\text{吸光度} = -0.146 \times (\text{乙炔體積百分率濃度}) + 0.4492$ ，並推導出乙炔氣體偵測極限為 2.74%，數值非常接近乙炔在空氣中的爆炸極限 2.2%，若能對鉻酸鉀溶液氧化偵測方法做出實驗裝置的修正與改良，應該有機會把這個方法當成偵測有機氣體是否發生爆炸的一個指標。
- 四. 在教室內，打入空氣進入鉻酸鉀溶液 72 小時，並未能發現溶液有吸光度下降現象。
- 五. 設計自製「行動式 420nm 紫光雷射光度計」，藉由 15cm 的光徑長，可量測到更低溶液濃度 (10^{-8} M)。以鉻酸鉀溶液濃度與光敏電阻電阻值作圖，在濃度 10^{-4} M 至零之間，有高度的線性相關：光敏電阻值 = $57044 \times$ (鉻酸鉀溶液濃度) + 1.5309，相關係數平方為 0.9801。
- 六. 將 0~1.44 公升的乙炔氣體通入裝置中，統計分析後顯示：乙炔氣體每增加 1 公升，電阻值下降 0.2041kΩ，相關係數平方為 0.948，線性相關明顯。經過換算後可得知：每 1 公升的乙炔氣體會消耗 1.43×10^{-6} mole 的鉻酸根離子。
- 七. 將此結果實際應用到空汙或有惡臭環境的現場，藉由測量出的光敏電阻下降，來追尋空汙的源頭，針對廚房油煙，抽氣 5 分鐘，氣體通入時間每增加 1 分鐘，電阻值下降 0.048 kΩ，相關係數平方為 0.9477，氣體通入時間與電阻值有線性高度相關，成功偵測空氣中油煙的存在。
- 八. 從氧化還原電位的觀點來看：常用的可燃性氣體應該都能被鉻酸鉀溶液氧化。未來本研究設計的方法，是否可以做出各種常用可燃氣體在鉻酸鉀溶液氧化過程當中，吸收度下降與氣體濃度的檢量線，並且把這個檢量線的斜率，當成特徵，用來辨別可燃性氣體的種類與濃度。對高雄這個石化工業城市來說，許許多多的有機氣體管線在市區的地下輸送，沒有人希望 2014 年的氣爆事件再次發生，我們希望這個研究能在氣體偵測上做出貢獻，但這次的研究深度有限，希望以後能再持續的研究下去。

柒.參考資料

- 一、陳思穎、莊宏一、陳震宇、林昭汝 (2009)。The Colors—光與顏色的關係。中華民國第 42 屆中小學科學展覽會。台灣國立科學教育館。
- 二、楊博亞、朱正峰、顏珮君、蔡英品 (2013)。片甲不「硫」—二氧化硫的測定法。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會。台灣國立科學教育館。
- 三、趙子揚(2009)。探討植物對甲醛之吸收。高雄市第 49 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、認識分光光度計(一)原理與設計概念(無日期)。台北市。民 109 年 1 月 5 日，取自：<http://www.actr.com/tw/tw-report/tw-report-technology/335-tw-tech-photometer-principle-concept.html>
- 五、中華壓力容器協會網站(無日期)。台北市。民 109 年 1 月 5 日，取自：http://www.fsair.com.tw/qt_qt.html
- 六、空氣中二氧化硫自動檢驗方法—紫外光螢光法(無日期)。台北市：環保署。民 109 年 1 月 5 日，取自：<https://oaut.epa.gov.tw/law/Download.ashx?FileID=29946>
- 七、爆炸極限(民 107 年 2 月 28 日)。台北市。民 109 年 1 月 5 日，取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%88%86%E7%82%B8%E6%A5%B5%E9%99%90>
- 八、比爾定律(Beer's Law)的限制(民 100 年 11 月 18 日)。台北市：高瞻計畫自然科學網站。民 109 年 1 月 5 日，取自：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40848>
- 九、鉻體系的 Eh-pH 圖(CT, Cr=10-4mol/L)(無日期)。環境圖書與資訊網。民 109 年 4 月 15 日，取自：http://www.eh-cloud.com/photo_index/view/47bf5b3e88d645e79f68af38f0628e20