2014 年臺灣國際科學展覽會
優勝作品專輯

作品編號　120005

參展科別　環境科學

作品名稱　利用 I.M.S.即時顯示系統建立資料庫，在重金屬污染監測上之應用

得獎獎項　大會獎：四等獎

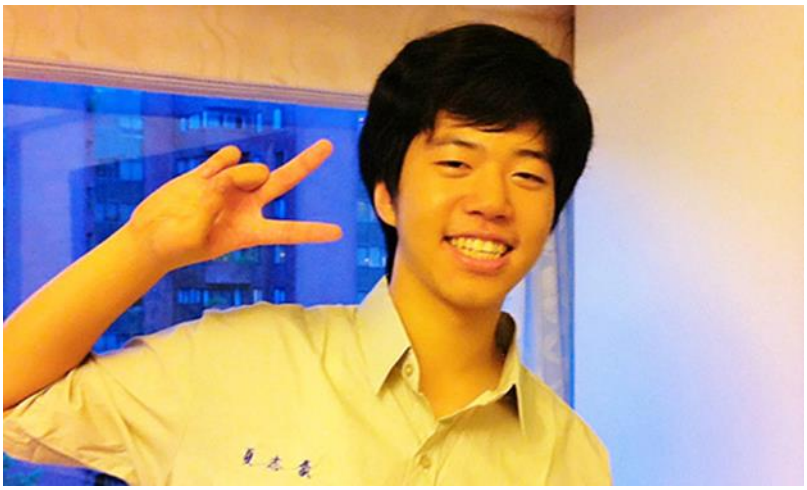
就讀學校　臺北市立建國高級中學、國立臺灣師範大學附屬高級中學

指導教師　葉昭松、洪逸文

作者姓名　夏志豪、黃厚宜

關鍵字　重金屬污染、即時監測、電泳

作者簡介



我是夏志豪，1998 年 9 月 12 日出生於一個幸福和樂的家庭，目前就讀台北市立建國高中一年級。

從小就喜歡觀察思考及閱讀科學期刊，最喜歡的學科是自然科學及數學；休閒時喜歡音樂及旅行。

小學 3 年級開始科學實驗並參加科展比賽，八年級代表學校參加台北市科展獲得優等獎，九年級開始參加國際科展。上高中後，更進一步確定自己未來將繼續朝科學的領域邁進。

我是黃厚宜，目前就讀國立師大附中高一。個性內向但沉穩，自小喜愛數學及自然科學。

自國中開始參加台北市中小學科學展覽，開始了長期的科學實驗。這段期間的歷練，除了在學識上的收穫外，也讓我視野更開闊，自主與邏輯思考能力增進不少。

我熱愛學習、態度認真，勇於接受挑戰，相信這會讓我的未來有無限發展的空間。

摘要

本研究以設計即時監測系統(Instant Monitoring System 簡稱 I.M.S.) 為目標，利用電解質導電原理,設計 LED 顯示系統,即時顯示土壤與河川受到重金屬污染。

電解質水溶液，在通電發生電泳運動時，不同的離子的水溶液電阻，會呈現出振盪的特殊性，可作為離子種類的判斷條件。藉由約 105 筆實驗數據，作七種重金屬離子的定性比對, 可以快速的比對出不同重金屬離子的濃度與種類。

本實驗的設計與使用有以下的優點 ：

一、 無論樣品電阻大小均可使用。

二、 利用簡易工具，可輕易檢測出廢水內離子濃度的範圍與種類。

三、 可作為檢測電泳與導電性質的輔助工具。

四、 操作簡便，可廣泛使用。

Abstract

This study is to search for a simple method that can audit & control the environmental heavy metal contamination. We applied the concept that solution conductivity might be proportional to the electrolytes concentration. Then we built a convenient LED-based Instant Monitoring system (I.M.S) to monitor the heavy metal contamination level change in soil or water.

Through the built-up of about 105 experimental data, for the qualitative analysis of different ions, we can identify what kind of ions are in the aqueous solutions. The resistance of different ionic solutions will present different oscillation frequency, which can be used to differentiate various ions.

The benefits of our designed system are :

1. **It can be used for ions with large or small resistance in aqueous solutions;**
2. **It can be done with simple experimental equipments;**
3. **It can be used to assist detection of conductivity and electrophoresis of ions in aqueous solutions;**
4. **It can be easily operated.**

一、 前言

(一)、研究動機

今年發生的”彰化農地驗出鎘污染”【圖 1】以及”高雄後勁溪鎳污染”【圖 2】事件，皆因工廠非法排放含超標重金屬的廢水，引起大眾恐慌。重金屬離子不僅污染水，也是土壤中劇毒污染物，全國現有多數工業區及高科技廠，都有排放含重金屬廢水的風險，如果這些廢水滲入土壤中，一定會造成長久性污染。

去年，我們已設計出 LM324-LED 即時監測系統 (Instant Monitoring System，簡稱 IMS) 做為土壤污染防治的預警系統。IMS 可用來監控土壤受重金屬污染的總濃度大小。我們當時有個想法，能否利用同一套系統的原理，建立資料庫【圖 3】，可進一步分析重金屬離子的濃度及種類。

隨著升上了高中，我們了解到離子的電泳現象，我們因此想利用電泳作用，來分辨不同重金屬離子的種類，希望 IMS 除了土壤之外，也可以作為水污染的即時監測系統。隨著台灣經濟的繼續蓬勃發展，工廠，工業區，及科學園區的不斷增加，美麗的家園會不會被含重金屬廢水污染，已成為居民們最擔心的議題。

(二)、研究目的

1. 利用 LM324 積體電路放大器的比較電壓特性與 LED 亮燈的特性，設計出簡易且實用的檢驗金屬離子電解液各種導電特性的工具，命名為「LM324-LED 即時監測系統」(即是 LM324-LED Instant Monitoring System 簡稱：I.M.S.)。
2. 利用上述「LM324-LED 即時監測系統」(I.M.S.)，發展各種金屬離子((Pb2+、Ag+、Hg2+ 、Cu2+、Zn2+、Cd2+、Ni2+)水溶液的定量分析方式。

3. 藉由測量各種離子在水溶液中的導電特性，分析出各類金屬離子在水溶液中的游離電泳速度、電阻變化等，進而做出各類樣品離子的定性分析比較數據或圖表。

4. 在相同離子情況下改變濃度，探討出各種離子以上性質與濃度間的梯度關係。

5. 整合過去研究土壤中重金屬定量與本次定性實驗的標準步驟與操作流程。

中華民國102年10月5日／星期六　新聞投訴專線：02-23064553、02-23087111轉5550　傳真：02-23085924　E-mail：news.ct@chinatimes.com.tw　生活新聞

http://www.chinatimes.com

抽檢重金屬　和美228筆土地超標

彰化農地驗出鎘汙染

吳敏菁／彰化報導

彰化縣和美鎮東西二、三圳流域11年前爆發鎘米事件投入整治，7年前再爆發1次。今年3月環保署檢測農地重金屬汙染，採樣34筆中29筆超標，比例驚人，8月投入擴大調查，再採集398組土壤，昨天結果出爐，共228筆土地超標、逾44公頃，將銷毀受汙染作物，辦理劃除補償、停耕補償、汙染整治、汙染源阻絕等。

環保局表示，近日收到環保署調查結果，汙染總面積逾44公頃，主要汙染項目是鉻、銅、鎳、鋅；其中6組驗出鎘汙染。

農地停耕銷毀作物

環保局5日要召開說明會，汙染農地將要求暫停耕作、停止引水灌溉，並將銷毀受汙染作物，後續辦理劃除補償、停耕補償、汙染整治、汙染源阻絕等。

環保局普查流域內附近電鍍工廠從過去上千家到現在400多家；彰化縣環保聯盟蔡嘉陽博士指出，灌排不分，讓問題沉疴難解，除了要加強取締，勇於檢舉，檢、警、調一起投入，更要輔導工廠遷移到工業區，集中管理。

蔡嘉陽指出，農地混雜著工廠，工廠製成過程一定製造廢水，很難要求小型工廠獨資增設汙水處理設備，當初規畫彰濱工業區就是為了納入這些工廠，集中處

農民無奈，「就像照顧田仔在看顧稻子，快結穗才通知，真嘸甘，一世人種稻，不知未來怎麼辦！」

農民嚇呆：像判死刑

環保署3月執行「全國重金屬高汙染潛勢農地之管制及調查」，分別在彰化埔心、秀水與和美共採樣100組，埔心、秀水各有8和12組超標，和美不合格率高達85%，環保署8月針對和美嘉犁支線、鐵山支線等東西二、三圳，怎麼等播種才說？」昨天農民收到通知，心涼了半截，82歲黃高橋呆坐田埂欲哭無淚，「天天照功夫施肥、除草，真像無辜被判死刑！」

汙染面積44公頃

議員尤瑞春說，11年前東西二、三圳流域就爆發鎘米事件投入整治，7年前再爆發1次，再投入整治，還是又汙染了，「土地整治一再破功，要找出問題根源，

和美鎮農地再檢出228筆土地、44公頃遭重金屬汙染，其中有6組鎘、銅、鎳、鋅等汙染，農民眼見著稻子正在結穗了，傷心不已。

灌排不分　問題10年

湯雅雯／台北報導

對於彰化農民、里長抱怨，不取締工廠，只拿農民開刀及灌排不分離的問題，環保署表示，從民國91年319計畫，針對全台319公頃高汙染潛勢農地，交給各縣市環保局做細密調查，一個近塊一個近塊去查，當年發現將200

農地擴大。

針對彰化縣和美鎮東西二、三圳流域農地重金屬汙染採樣，環保署強調目前進行第2階段擴大調查，9月中旬就已經將資料交給彰化縣環保局，環保局今天將召開說明會，協助農民辦理劃除補償、停耕補償

【圖 1】彰化農地驗出鎘污染

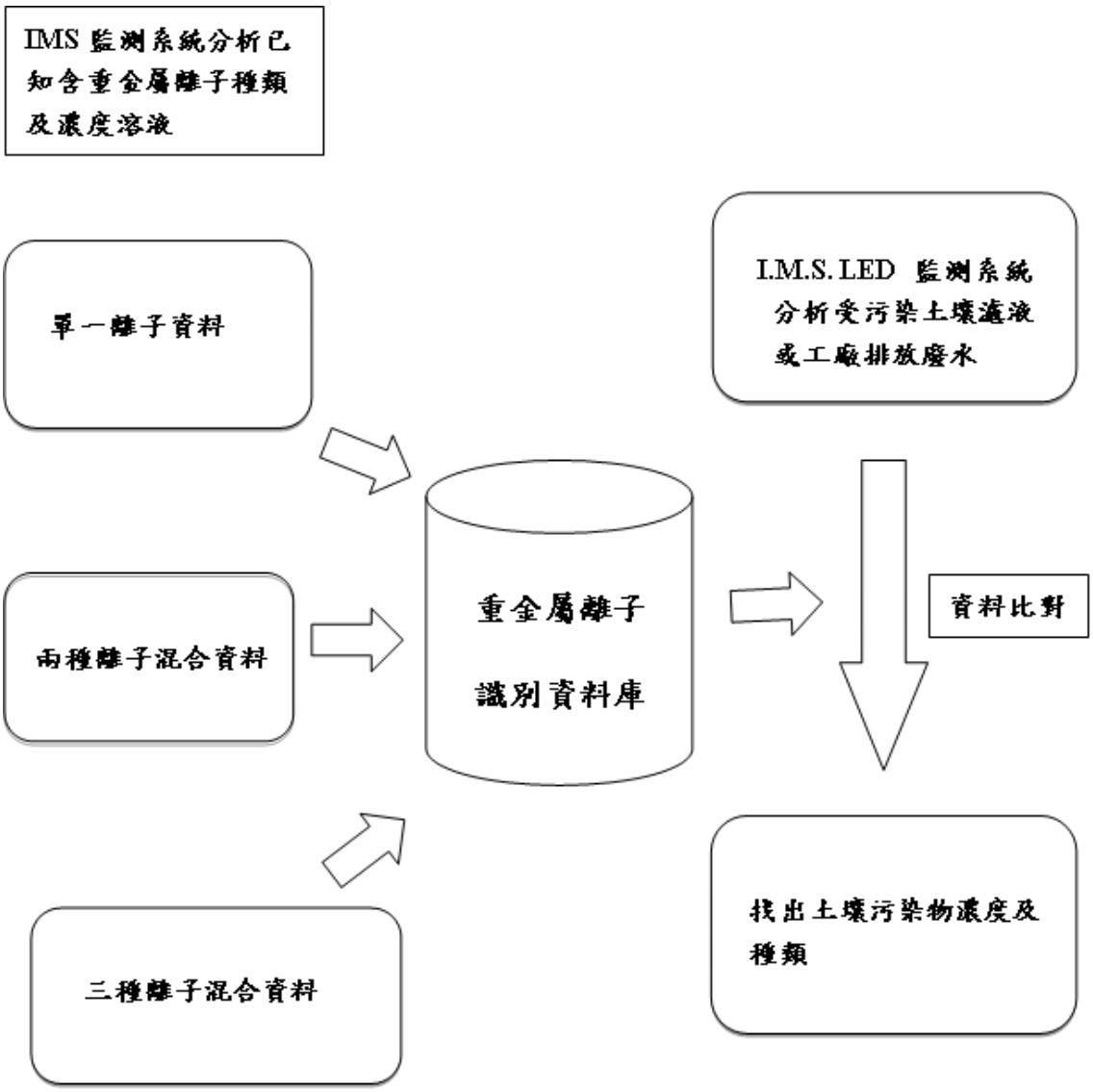
連益偷排　勒令停工　移送法辦

後勁溪再爆　鎳汙染超標500倍

比日月光遺毒100倍

趁環保空窗期偷排

【圖 2】後勁溪遭到嚴重污染


IMS 監測系統分析已知含重金屬離子種類及濃度溶液
單一離子資料
兩種離子混合資料
三種離子混合資料
重金屬離子識別資料庫
I.M.S. LED 監測系統分析受污染土壤滷液或工廠排放廢水
資料比對
找出土壤污染物濃度及種類

【圖 3】： 資料庫圖示

(三)、研究流程 【圖4】

1. 選定硝酸鉛($Pb(NO_3)_2$)、硝酸銀($AgNO_3$)、硝酸汞($Hg(NO_3)_2$)、硝酸銅($Cu(NO_3)_2$)、硝酸鎳($Ni(NO_3)_2$)、硝酸鋅($Zn(NO_3)_2$)、硝酸鎘($Cd(NO_3)_2$)等七種金屬可溶性鹽類作為研究探討對象，同時將上述樣品預先配製成1000ppm 的濃度。

2. 用「LM324-LED 即時監測系統」，作為觀察以上七種離子(Pb^{2+}、Ag^{+}、Hg^{2+}、Cu^{2+}、Zn^{2+}、Cd^{2+}、Ni^{2+})的定性與定量分析方式。

3. 定量分析方式：

   (1) 個別離子總濃度的定量測定

   (2) 混合離子總濃度的定量測定

4. 定性分析方式：

   主要是兩種方式與操作步驟：

   (1) 找出其 LED 燈振盪頻率與振幅、波形，或直接以其電阻變化製作成原始數據圖形，再與未知溶液作比對。

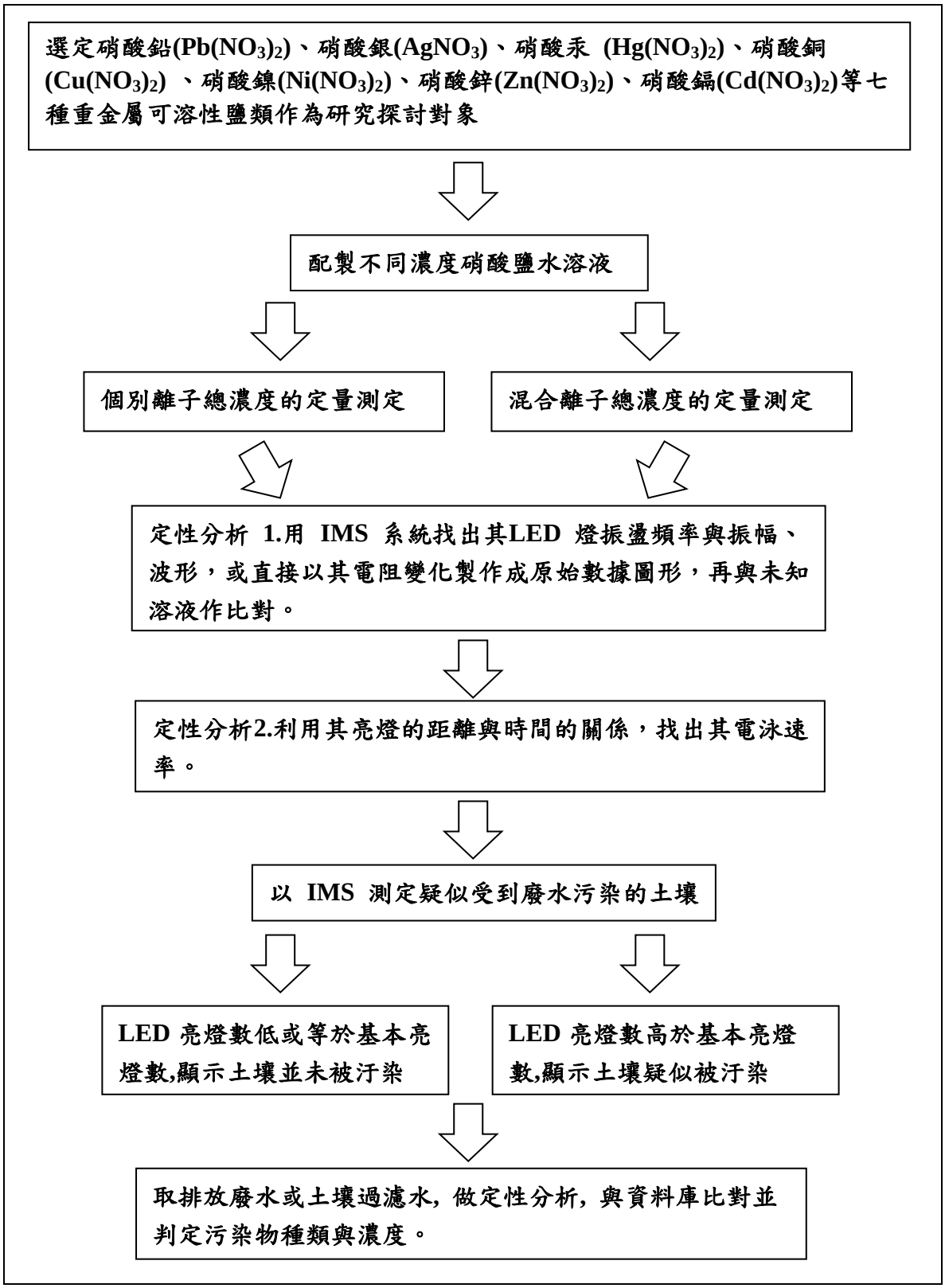
   (2) 利用其亮燈的距離與時間的關係，找出其電泳速率。

5. 整合過去研究土壤中重金屬定量與本次定性實驗的標準步驟與操作流程。

   (1) 首先依檢測土壤離子濃度測量待測土壤，找出亮燈超過兩顆燈的土壤樣品。

   (2) 取上述土壤樣品約 100 公克，加入蒸餾水 100ml，充分攪動並靜置數分鐘後過濾，取出濾液，留置下一步驟使用。

(3) 將上述濾液，依定性分析操作製成表格，與已製得之資料做比較判定土壤中金屬種類。



【圖 4】： 研究流程圖

二、 研究方法與過程

(一)、 研究器材與設備

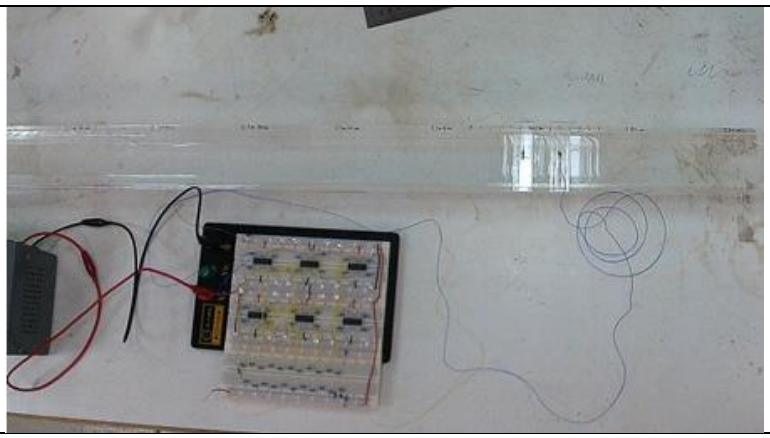
1. 化學藥品 ：樣品藥品：【圖 5】。

(1) 硝酸汞($Hg(NO_3)_2$)
(2) 硝酸銀($AgNO_3$)
(3) 硝酸鉛($Pb(NO_3)_2$)
(4) 硝酸鋅($Zn(NO_3)_2$)
(5) 硝酸銅($Cu(NO_3)_2$)
(6) 硝酸鎳($Ni(NO_3)_2$)
(7) 硝酸鎘($Cd(NO_3)_2$)

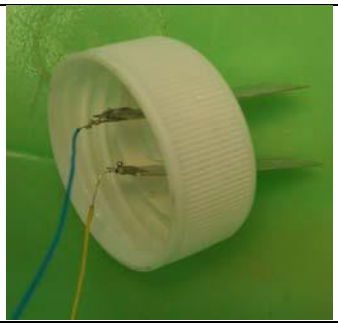
【圖 5】： 化學藥品

2. 實驗器具：

(1)電源供應器
(2)三用電錶
(3)LED燈 (紅色)
(4)白金電極片
(1×3×0.1cm)
(5)專用透明壓克力長型水槽組【圖6】
40 cmx3cmx2.5cm
(6)電焊槍組
(7)自製瓶蓋電極架及白金電極【圖7】
(8)廢水收集之塑膠桶
(9)五毫升注射針筒
(10)電子天平
(11)數位相機與攝影機
(12)各式量筒
(13)各式燒杯
(14)試管
(15)濾紙



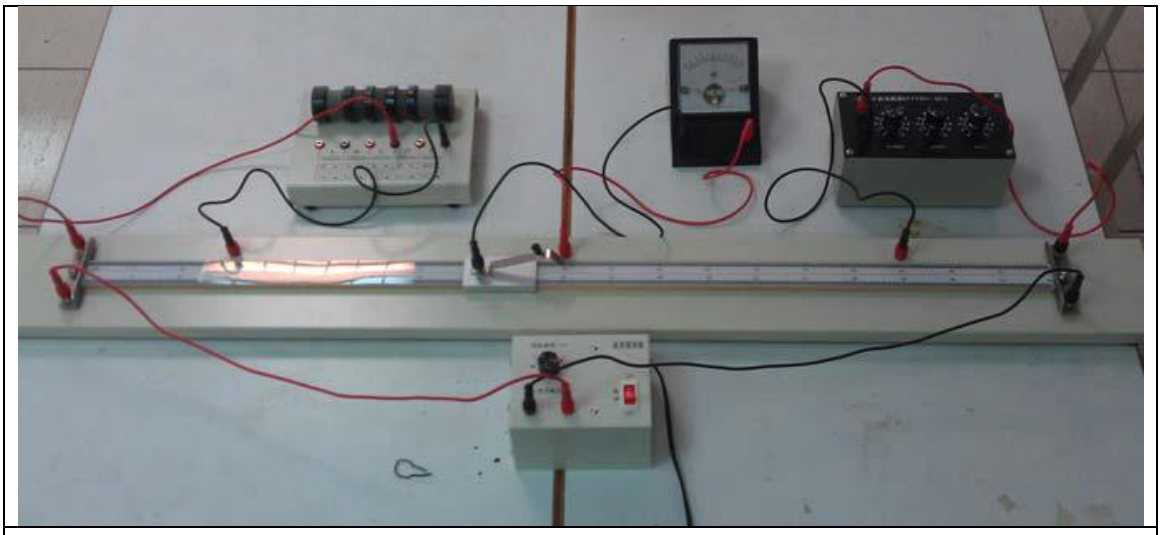
【圖6】： 白金電極與透明壓克力水槽



【圖 7】：自製瓶蓋電極架

【圖 8】：I.M.S.即時監測系

(16)　大小滴管。
(17)　一公升藥品瓶。
(18)　LM324-LED I.M.S.即時監測系統) (【圖8】。
(19)　實驗室用蒸餾水十桶。
(20)　惠斯登電橋組【圖9】。
(21)　土壤壓克力污染排水模擬箱 15 x 30 x 60 cm .【圖10】。



【圖 9】：　惠斯登電橋組

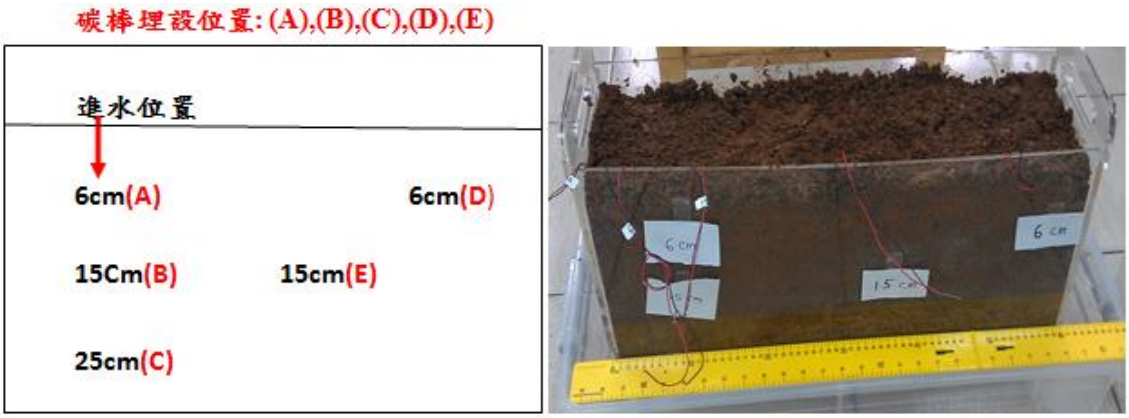


圖 10 土壤壓克力污染模擬箱
15x30x60 cm 中觀測點(A)~(E)電極碳棒位置

(二)、 研究方法

1. 七種金屬離子樣品配製：

一般水質汙染公告，是以重金屬濃度為多少 ppm 表示，本研究也以 ppm 為濃度單位的方式配製。配製體積為 1000ml，濃度為 1000ppm 的硝酸鉛($Cu(NO_3)_2$、硝酸銀($AgNO_3$)、氯化汞($HgCl_2$)、硝酸銅($Cu(NO_3)_2$、硝酸鎳($Ni(NO_3)_2$)、硝酸鋅($Zn(NO_3)_2$)、硝酸鎘($Cd(NO_3)_2$)溶液，所需各化合物的重量如下表：

樣品名稱	所需重量(g)	樣品名稱	所需重量
硝酸鉛	1.60	硝酸鎳(98%)	5.05
硝酸銀	1.58	硝酸鋅(95%)	4.55
氯化汞	1.36	硝酸鎘	2.74
硝酸銅	3.81		

【註】：表中所示之重量，均已考慮化合物含結晶水的多寡以及藥品純度的問題，且均做了適當的修正，力求樣品濃度的正確性。

2. 實驗條件的設定與說明

(1) 「LM324-LED 即時監測系統」(I.M.S.)燈數的選用：

根據過去研究的經驗我們得知，供應電壓的大小與待測物的導電性高低，此兩項因素均會影響亮燈數的多寡，因此一開始為避免燈數不足使用，故先設計成 24 顆 LED 的 LM324 監測系統，但實際操作後得知，由於我們所配製的樣品濃度最高為 1000ppm，因此最高亮燈數均不會超過 12 顆燈，所以中期實驗們均改為 16 顆燈組的檢測系統。如【圖 11】所示。

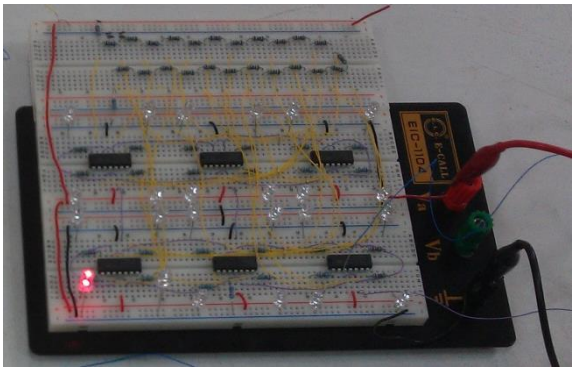
(2) 供應電壓的選擇：

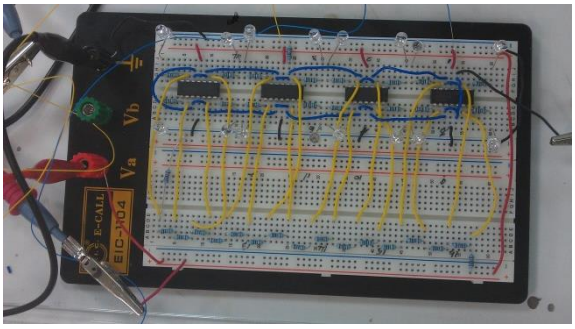
a. 由於初期實驗操作時沿用原有簡易電源供應器，同時設定為 9V(伏特)的電壓，但實際測得電壓卻是 13.3(V)，因此，為讓控

制變一致，當改用較準確的電源供應器時(如【圖 12】所示)，我們仍將電源電壓均設定為 13.3(V)。然而根據電壓分壓原理與 LM324 所需的工作電壓，我們認為供給電壓只定為 6(V)以上，便可以達到操作所需的最低電壓了。

b. 因此，我們在做個別離子濃度與燈數多寡的定量分析時，便改以 6V 作為供給電壓，見【圖 13】示。

(a) 24 顆燈



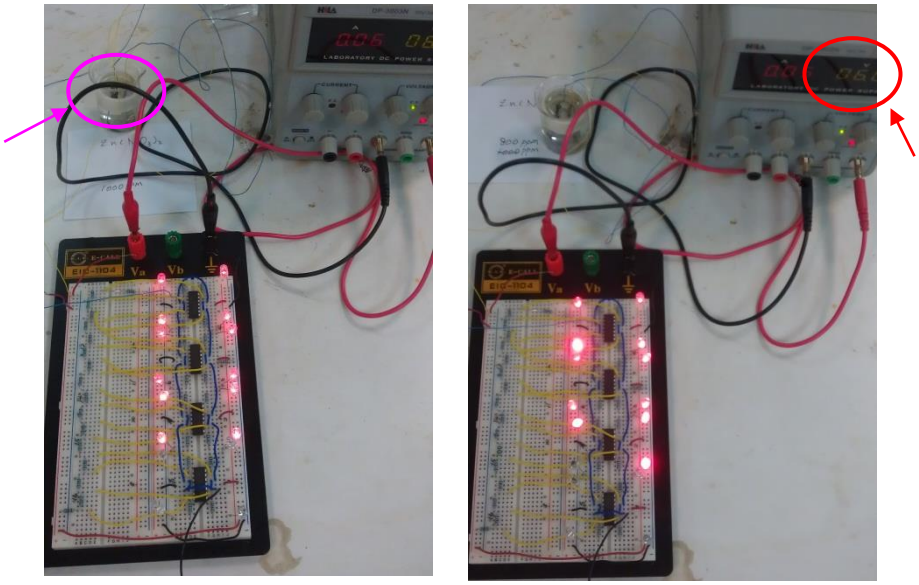


(b) 16 顆燈

【圖 11】.LM324-LED 即時監測系統(I.M.S.)

供給電壓 13.3V

【圖 12】.實驗室專用電源供應器



【圖 13】分別取 1000 與 800ppm 硝酸鋅溶液，連接
LM324-LED 即時監測系統之裝置

3. 利用 LM324-LED 即時監測系統(I.M.S.)，做各種金屬單一或混合離子的定量分析。

(1) 個別離子總濃度的定量測定：操作如【圖 13】所示。

a. 取測試個別離子水溶液樣品約 20ml

b. 放入燒杯中，在電極 2cm 距離下，測試其十分鐘後穩定態之下亮 LED 的變化個數。

c. 在相同離子情況下，分別取 1000、800、500、100、50、10、5ppm 溶液測其亮燈的數目多寡。

d. 與自然水之亮燈數作比較。

(2) 混合離子總濃度的定量測定：

a. 方式同上步驟(1)，但離子總濃度分別由兩、三種離子所組成。

b. 作成表格，與結果(1)作比較，探討在相同濃度之下，不同離子之組成，測其亮燈的數目多寡是否相同。

4. 利用 LM324-LED 即時監測系統(I.M.S.)與各種離子電泳速率之差異做單一離子或混合離子的定性分析

此實驗主要是兩種方式與操作步驟：

目的就是利用電解槽中單一離子或混合離子電泳速率的差異，找出其 LED 亮燈的振盪頻率與振幅或波形，同時分別以三用電表及惠斯登電橋測量其電阻變化之特異性，並歸納記錄整理成原始數據與圖形，作為日後偵測未知離子的比對資料庫。其操作的過程與做法如下：

(1) 方式一：固定白金電極距離十公分，測量開始亮第一顆燈所需的時間。

a. 首先，在中型的透明壓克力長型水槽(內槽 40×3×2.5cm)注入蒸餾水 200ml。

b. 再以注射針筒抽取五毫升濃度為 1000ppm 的各種重金屬樣品溶液(註 1) ，如【圖 14】所示。

c. 將上述溶液迅速注入水槽最旁邊，且此處將放置正極白金極(註 2)，如【圖 15】所示。

d. 打開預先設定為 13.3V 的電源供應器，同時計時記錄亮第一顆 LED 燈所需得時間。

e. 同時觀察並記錄 LED 亮燈數的變化，主要記錄其變化的時間差並拍照或攝影。

f. 持續觀察其亮燈後的燈數變化約一小時(註 3)，並記錄燈數的多寡與其電流及電壓之變化關係，每分鐘做一次記錄。

g. 最後根據所測的電流與電壓關係，求出其溶液的電阻(歐姆)的變化與亮燈的關係或時間的關係，並作圖觀察。

h. 為確認所測得的電流與電壓是一組準確的電阻值，選定一種溶液，直接以惠斯登電橋實驗裝置(如【圖 16】所示)，檢測並記錄實驗過程中的電解樣品溶液之電阻值，並與步驟 g 的計算數值做比較。(見以下【惠斯燈電橋原理說明】)

i. 重複步驟 a.~步驟 f.的操作，同時改變不同的重金屬樣品溶液。

(2) 方式二：若超過十分鐘後，步驟(1)的 LED 燈仍不亮，則緩慢將陰極白金電極推向正極，即是縮短白金電極距離，同時測量出開始亮第一顆燈所需的時間與最大距離。

a. 如上述(1)中的操作步驟 a.~b.，靜置十分鐘後，若仍未亮燈，則進行以下步驟。

b. 緩慢將陰極白金電極推向正極，同時記錄其開始亮燈的最大距離為多少公分，也同時記錄亮燈的時間，如【圖 16】所示。

c. 若推至相距最近距離 2 公分處仍未亮燈，則繼續靜置直至亮燈為止，記錄所需之時間，並持續觀察其亮燈後的電流與電壓之變化，每分鐘做一次記錄。

d. 利用其亮燈的距離與時間的關係，找出其該陽離子的電泳速率。

【註】①此項操作，讓最後的濃度被稀釋至約僅剩下 25 ppm 左右。

②此項操作目的是，要讓所有待測的七種陽離子均是由最旁邊(【圖 16】中最左邊)向陰極電泳過去。換言之，是為了讓所有陽離子均是在相同的距離(十公分)之下電泳。

③由於實驗過程等同於電解反應，均會在陰極處有金屬的析出，因而造成濃度的急速下降，開始的時後亮燈數下降較為明顯，經過一段時間後，亮燈數會趨於穩定，而到達穩定亮燈數的時間與離子種類有關。

(3) 混合離子的定性分析操作

操作方式比照上述步驟(1)或(2)，但由於時間的關係，本次實驗僅選擇兩種離子混合與三種離子混合，實驗樣本如下：

a. 兩種離子混合：

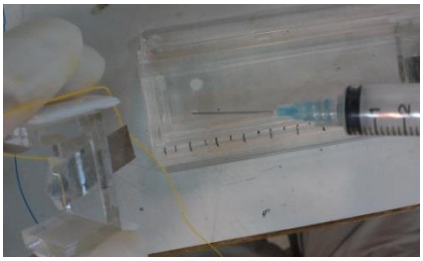
(a) 銅離子與鋅離子各取 1000ppm 2.5 毫升，充分混合後取出 5 毫升加入。

(b) 鎘離子與汞離子各取 1000ppm 2.5 毫升，充分混合後取出 5 毫升加入。

b. 三種離子混合：

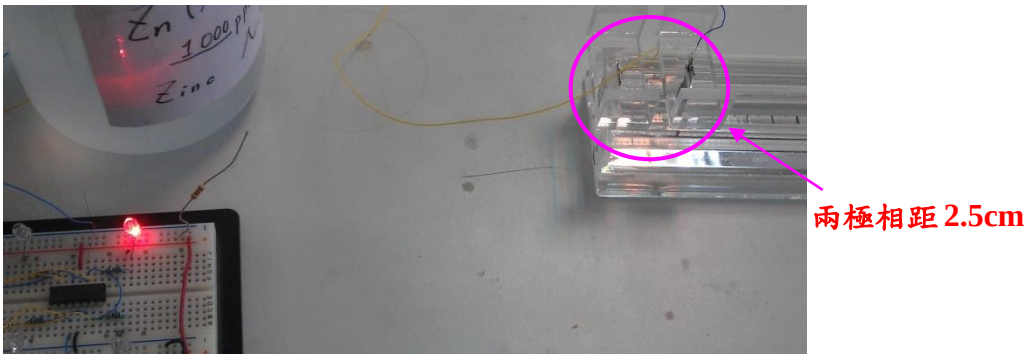
(a) 銀離子、鋅離子與鉛離子各取 1000ppm 2 毫升，充分混合後取出 5 毫升加入。

(b) 銅離子、鎳離子與鉛離子各取 1000ppm 2 毫升，充分混合後取出 5 毫升加入。



【圖 14】針筒注入樣品

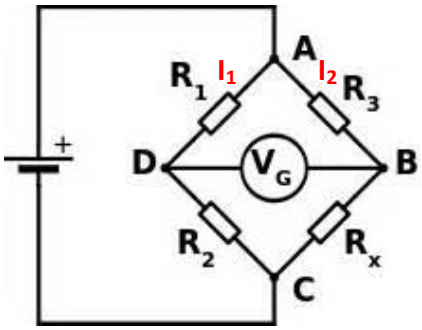
【圖 15】 電泳速度較快的銅離子



【圖 16】電泳速度較慢的鋅離子

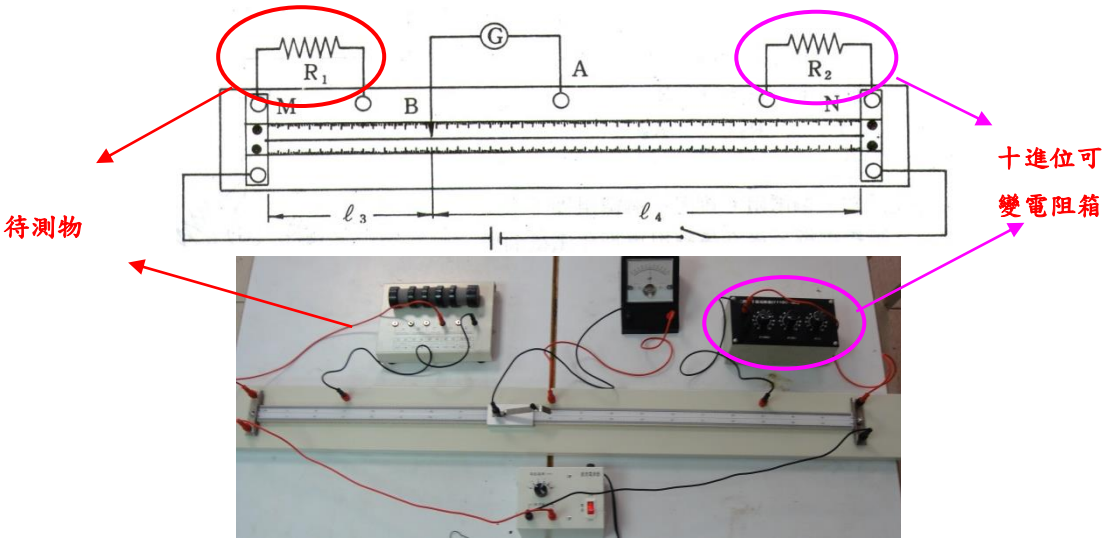
【惠斯燈電橋原理說明】：

惠斯登電橋是一種電路接線形式，如【圖 17】所示。其中 V_G 為檢流計，R_1~ R_4 為電阻。之所以稱為"電橋"，是由於檢流計 V_G 兩端連接 B、D 兩點位置，就好像有座橋般。而就在這座上，我們觀察 B、D 兩點電位的情形。若 B、D 兩點的電位相同，則檢流計兩端將無電位降。沒有電位降，那麼就沒有電流通過檢流計，檢流計指針也就不會偏轉。設此時通過 R_1 和 R_2 的電流為 I_1，通過 R_3 和 R_x 的電流為 I_2。因 B、D 兩點電位相同，所以 $I_1R_1=I_2R_3$---(1) 且 $I_1R_2=I_2R_x$ ---(2) 將(1)式除以(2)式，得 $R_1R_x=R_3R_2$；或可改寫成 $R_3=R_1R_x/R_2$。

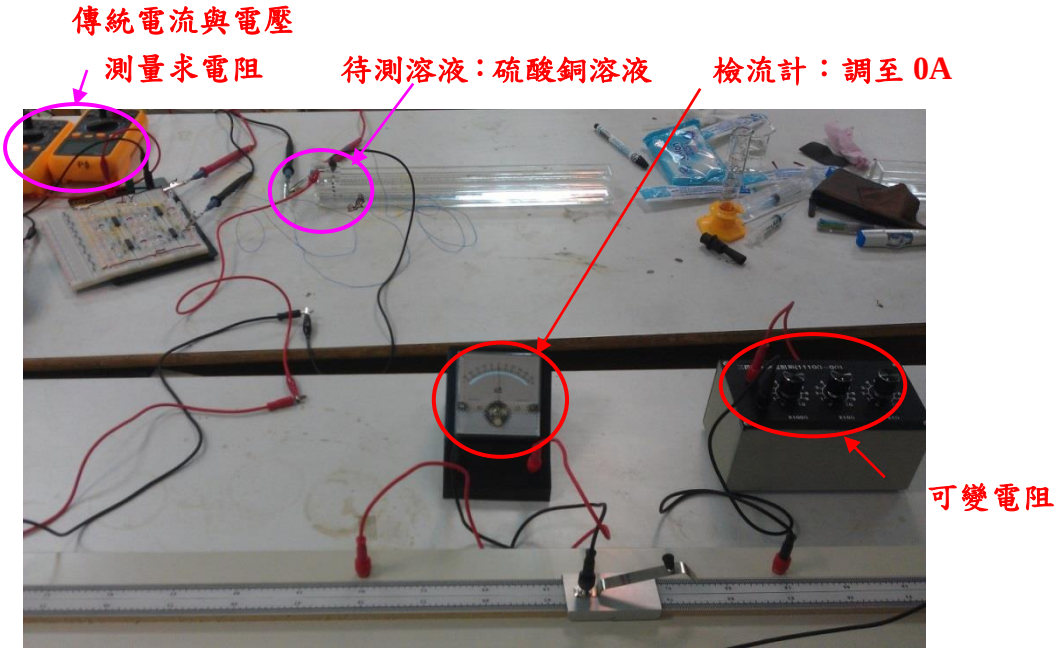


【圖 17】惠斯登電橋原理圖

依此原理，設計並利用如【圖 18】的裝置，又因為電阻(R)大小與其長度(l)成正比，故若如【圖 17】R_1 為待測物，R_2(即為上圖 5-4 的 R_3)為十進位可變電阻箱，當 R_2、l_3、l_4 均為已知，則便可以求出待測物 R_1 的電阻值： $R_1 = R_2(l_3 / l_4)$。實際實驗裝置如【圖 19】。



【圖 18】 惠斯登電橋實驗裝置圖



【圖 19】 實際惠斯登電橋實驗裝置 (包含傳統電壓 V 電量 A

5. 整合過去研究土壤中重金屬定量與本次定性實驗的標準步驟與操作流程：

(1) 首先依檢測土壤離子濃度方式，測量待測土壤找出亮燈超過兩顆燈的土壤樣品。

模擬實驗步驟如下：

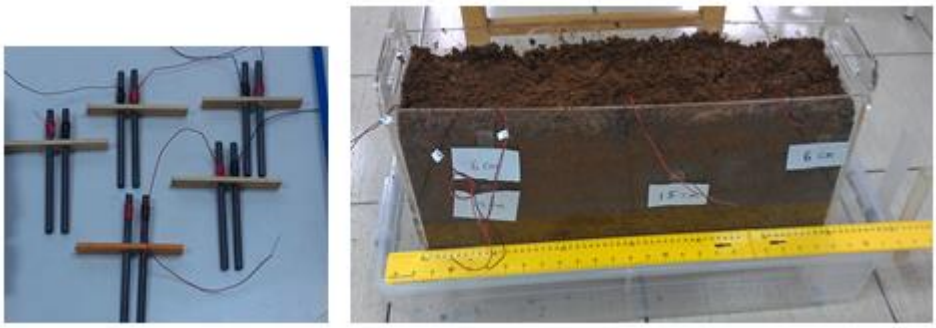
a. 在模擬箱中的五個位置，分別埋入碳棒電極組，再以不同濃度之銅離子水溶液完全濕潤樣品泥土，如【圖 20】所示。

b. 約靜置十分鐘後，待五處的 I.M.S.呈現燈數穩定之後，再分別取出該處已被重金屬離子汙染的樣品土壤，如【圖 21】所示。

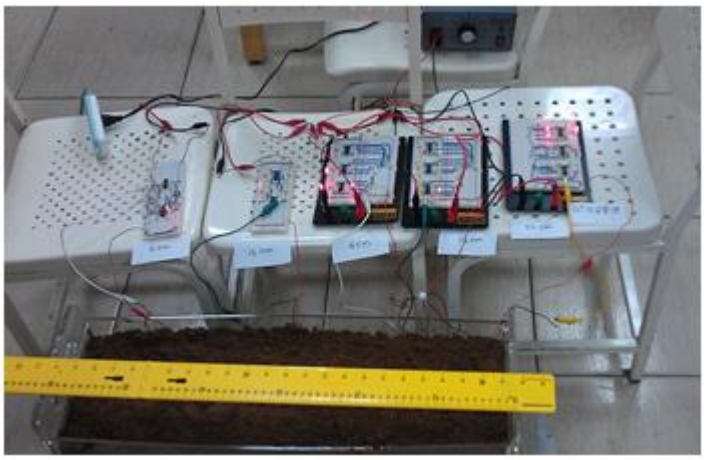
c. 分別取上述土壤樣品約 100 公克置入花盆中，加入自來水或蒸餾水 100ml，

d. 靜置數分鐘後使其自然過濾，以燒杯取出濾液，留置下一步驟使用，如【圖 22】所示。

(2) 將上述濾液，如【圖 23】所示，依本實驗提供之定性分析操作製成表格，與已製得之資料比較判定土壤中金屬種類。

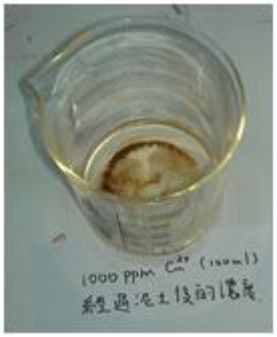


【圖 20】碳棒電極與模擬樣品土壤箱裝置



【圖 21】　靜置等待 L.M.S.燈數穩定

【圖 22】以水沖洗已被銅離子汙染之樣品土壤，並收集濾液



【圖 23】已收集之待檢測樣品土壤濾液

三、 研究結果與討論

(一)、 研究結果

1. 個別離子總濃度的定量測定：濃度變化與 I.M.S.LED 亮燈數關係 ：

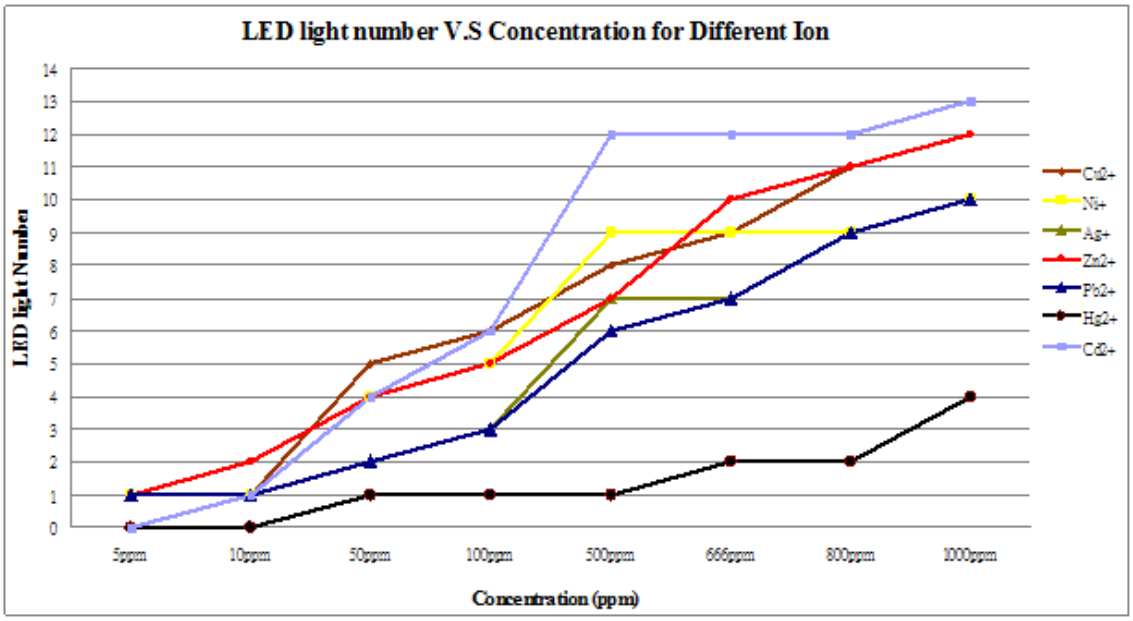
(1) 七種個別離子在電極 2cm 距離下，分別取 1000、800、666、500、100、50、10、5ppm 溶液，測量其十分鐘內 LED 燈的個數變化，共有七組，其實驗結果如下【表一】所示。

(2) 將【表一】製作成如【圖 24】討論。【圖 25, 26】一系列為部分實驗結果。

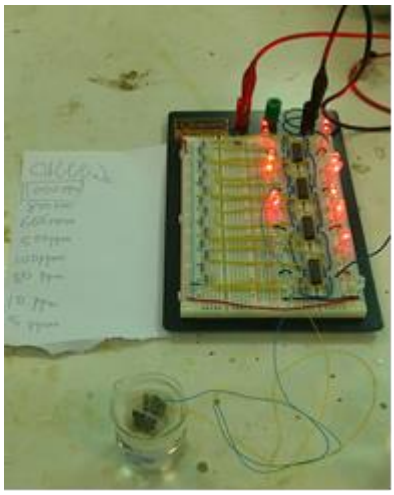
表一：七種不同離子，在一系列相同濃度變化之下，LED 燈的個數變化

Ion	5ppm	10ppm	50ppm	100ppm	500ppm	666ppm	800ppm	1000ppm
Cu^{2+}	1	1	5	6	8	9	11	12
Ni^{2+}	1	1	4	5	9	9	9	10
Ag^{+}	1 註①	1	2	3	7	7	9	10
Zn^{2+}	1	2	4	5	7	10	11	12
Pb^{2+}	1(1ppm)②	1	2	3	6	7	9	10
Hg^{2+}	0	0	1	1	1	2(1~2)③	2(1→2)④	4(1→4)
Cd^{2+}	0	1	4(3~4)	6	12	12(10~12	12(10~12	13(11~13)

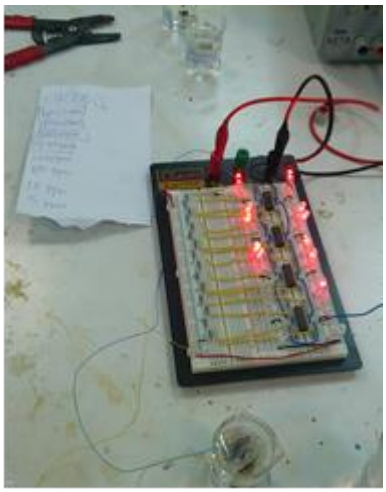
【註】①銀離子一開始不亮，需等待 3 分鐘後才亮。
②意指鉛離子最低在 1ppm 之下依然可以由 L.M.S.測出一個亮燈。
③④符號「~」表 LED 燈數呈現振盪狀態；符號「→」則表 LED 燈數呈現增加情形。



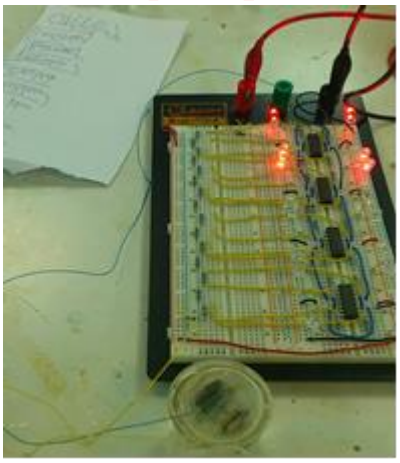
【圖 24】七種不同離子在各種濃度下 I.M.S.燈數變化圖



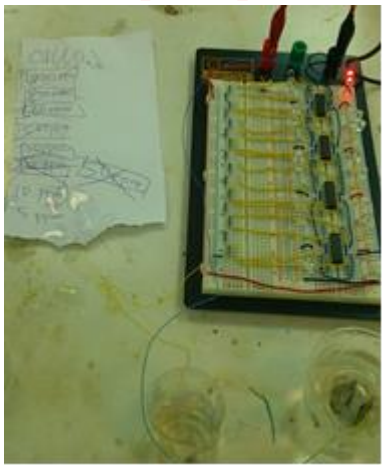
【圖 25 a】



【圖 25 b】

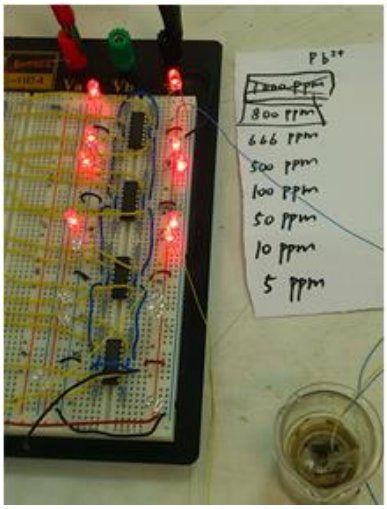


【圖 25 c】

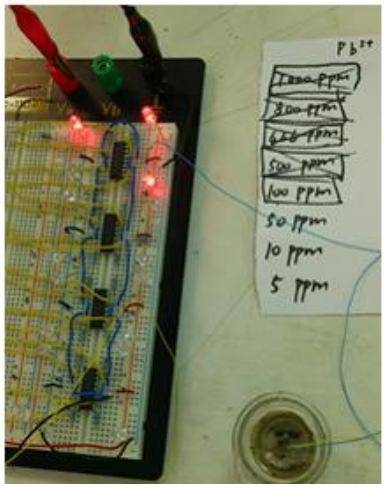


【圖 25d】

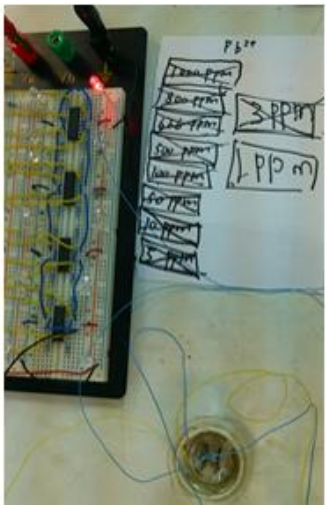
【圖 25 a-d】 分別是鎘離子在 1000、666、100、10ppm 的穩定燈數



【圖 26 a】



【圖 26 b】



【圖 26 c】

【圖 26 a-c】 分別是鉛離子在 800、100、1ppm 的穩定燈數

(3) 實驗結果補充說明：

由於，本實驗主要是分析各種不同濃度的離子或混合離子溶液，於 3~10 分鐘之內 I.M.S.穩定亮燈個數多寡。然而，我們發現隨著金屬種類或組成的差異，即使在相同的濃度之下，亮燈震盪情形與多寡，也不完全相同。其個別亮燈數特徵，在此作一概要的描述說明：

(1) Ni^{2+}、Cu^{2+}、Zn^{2+}三類離子，其濃度無論高低，對 I.M.S.亮燈數多寡均呈現非常穩定狀態， 即是不會有亮燈震盪的情形發生。據此可判定此三類離子在純水中的電泳速度應該是較為快的。故此三類離子亮燈個數完全符合『依數性質』。

(2) Ag^{+}離子在濃度超過 50ppm 以上時，也是不會有亮燈震盪的情形發生。但當濃度低於 50ppm 時，則必須等待 3 分種，才能亮起第一顆燈，據此可判定此銀離子在純水中的電泳速度應該是較鎳、銅、鋅為慢。但亮燈個數仍是符合『依數性質』。

(3) 至於 Pb^{2+}、Hg^{2+}、Cd^{2+}三類離子，其在不同濃度之下，亮燈數多寡與狀態，整理如下【表二】：

【表二】：鉛、汞、鎘、三類離子亮燈實際情形

Ion	5ppm	10ppm	50ppm	100ppm	500ppm	666ppm	800ppm	1000ppm
Pb^{2+}	約 30 秒亮 1 顆，另測試 3ppm 與 1ppm 均可亮 1 顆	瞬間亮一顆，然後分別隔 3 分鐘與 4 分鐘再各加亮 1 顆	瞬間亮 2 顆	瞬間亮 3 顆	瞬間亮 6 顆	瞬間亮 7 顆	瞬間亮 9 顆	瞬間亮 10 顆
Hg^{2+}	完全測不出	完全測不出	在 6 分鐘又 35 秒後才亮至 1 顆穩定	在 6 分鐘又 10 秒後才亮至 1 顆穩定	約 1 分鐘後才亮至 1 顆穩定	等待 4 分鐘後才亮至 2 顆穩定	等待 3 分鐘後才亮至 2 顆穩定	亮燈速度緩慢約每隔 1 分鐘亮一 1 顆，且僅亮 4 顆
Cd^{2+}	完全測不出	前 5 分鐘在 0~1 顆震盪，最後亮至 1 顆穩定	前 2 分鐘在 3~4 顆震盪，最後亮至 4 顆穩定	前 6 分鐘亮至 6 顆穩定	前 5 分鐘在 10~11 顆震盪，直至 6 分鐘後才亮至 12 顆穩定	前 3 分鐘在 10~12 顆震盪，直至 4 分鐘後才亮至 12 顆穩定	前 1 分鐘在 11~12 顆震盪，直至 2 分鐘後才亮至 12 顆穩定	前 3 分鐘在 11~13 顆震盪，直至 8 分鐘後才亮至 13 顆穩定

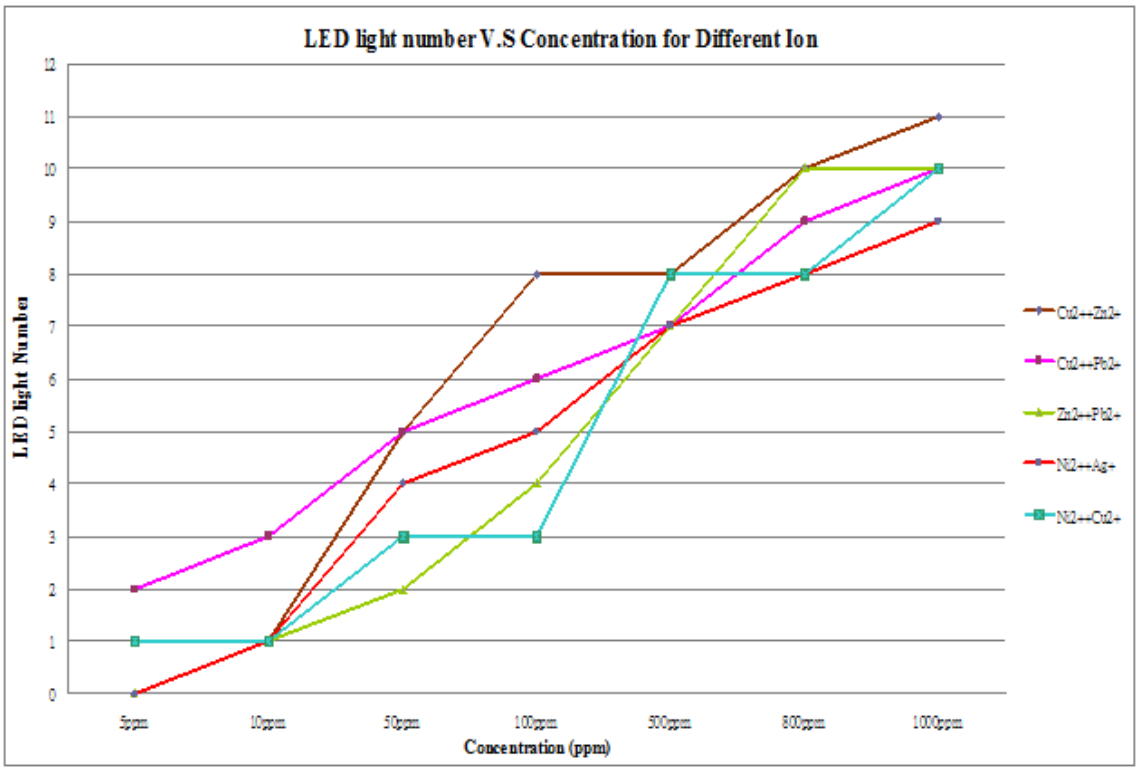
2. 五組混合不同兩類離子總濃度的定量測定：濃度變化與 I.M.S.的燈數關係

(1) 混合兩類重金屬離子，混合後總濃度與單一離子相同，共有五組，如下【表三】所示。

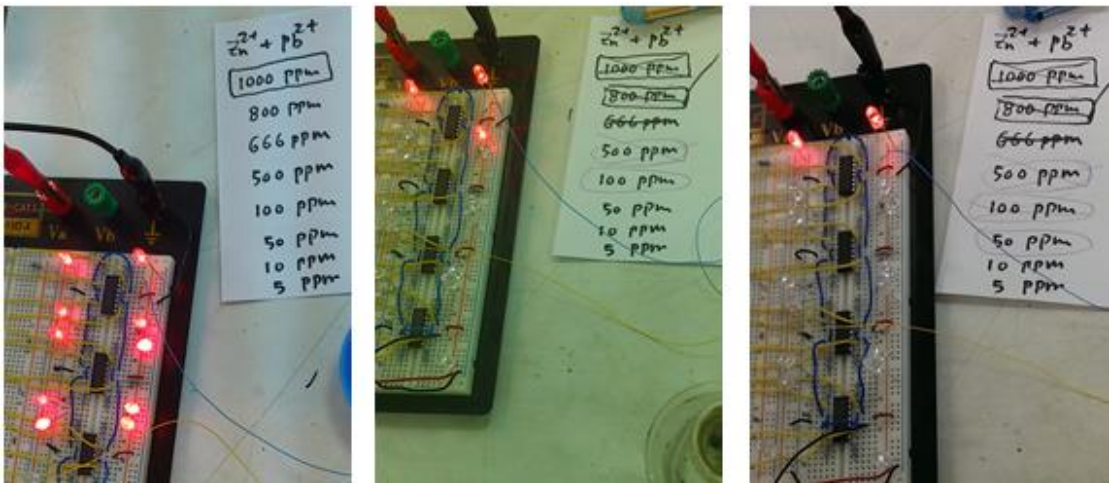
(2) 將【表三】製作成如【圖 27】討論。【圖 28】一系列為部分實驗結果。

【表三】：五組不同的兩類離子混合，在一系列相同濃度變化之下，LED 燈的個數變化

Ion	5ppm	10ppm	50ppm	100ppm	500ppm	800ppm	1000ppm
Zn^{2+}+Cu^{2+}	0	1	5(2→5)	8(3→8)	8	10(9~10)	11(10~11)
Cu^{2+}+Pb^{2+}	2	3(2~3)	5(2→5)	6(5→6)	7(7→8)	9	10
Zn^{2+}+Pb^{2+}	0	1	2(1~2)	4(3~4)	7(7→8)	10(9→10)	10
Ag^{+}+Ni^{2+}	0	1	4(3~4)	5(3→5)	7	8	9
Cu^{2+}+Ni^{2+}	1	1	3	3	8	8	10



【圖 27】五組不同的兩類離子混合在各種濃度下 I.M.S.燈數變化圖



【圖 28】由左至右分別是鉛／鋅兩類離子混合在 1000、100、50ppm 之下穩定亮燈數

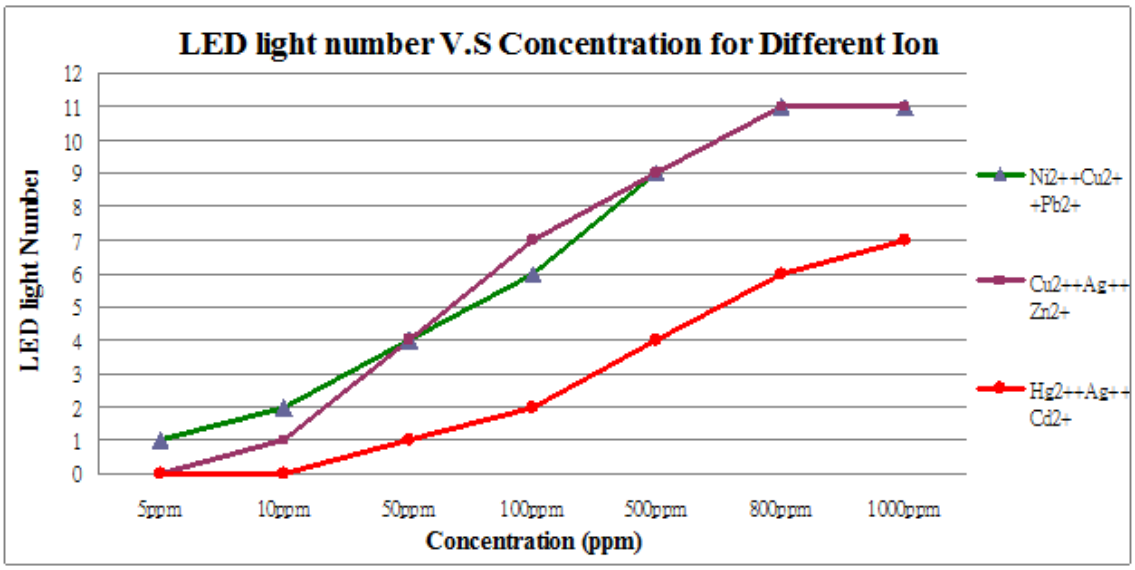
3. 三組混合不同三類離子總濃度的定量測定：濃度變化與 I.M.S.的燈數關係

(1) 混合三類重金屬離子，混合後總濃度與單一離子相同，但省略 666ppm 的測量，共有三組如下【表四】所示。

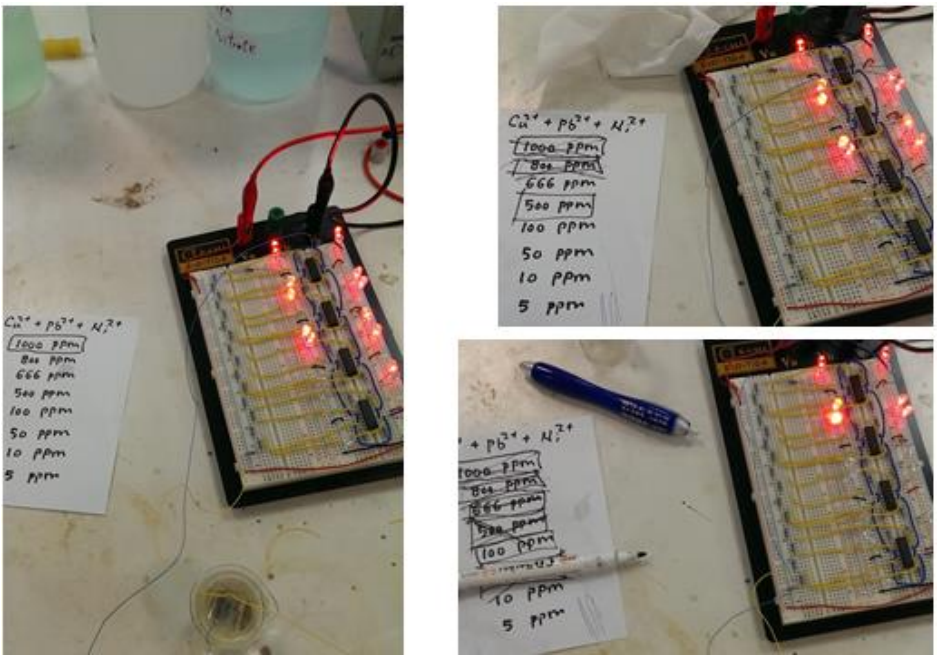
(2) 將表三製作成如【圖 29】討論。【圖 30】一系列為部分實驗結果。

表四：三組不同的三類離子混合，在一系列相同濃度變化之下，LED 燈的個數變化

Ion	5ppm	10ppm	50ppm	100ppm	500ppm	800ppm	1000ppm
Pb^{2+}+ Ni^{2+}+Cu^{2+}	1	2(1~2)	4(3~4)	6(5~6)	9(9~10)	10(10~11)	11(10~11)
Ag^{+}+ Zn^{2+}+Cu^{2+}	0	1	4(3~4)	7(6~7)	9(9~10)	11	11(11~12)
Hg^{2+}+Ag^{+}+Cd^{2+}	0	0	1(0~1)	2(1~2)	4(3~4)	6(4~6)	7(6~8)



【圖 29】三組不同的三類離子混合在各種濃度下 I.M.S.燈數變化圖



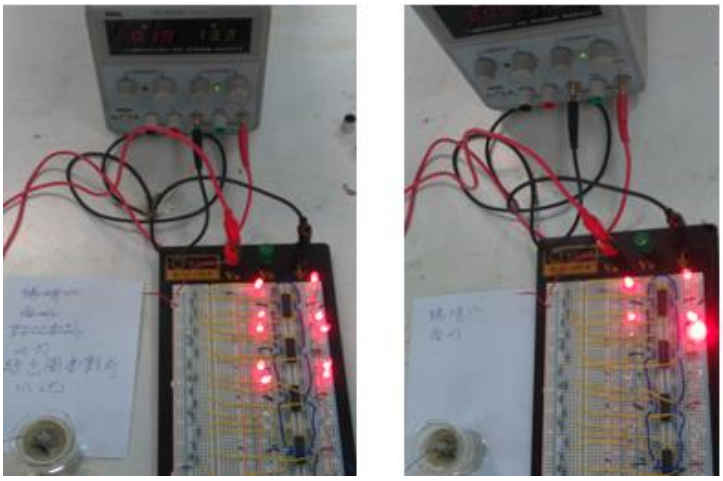
【圖 30】由左至右分別是銅/鉛/鎳三類離子混合在
1000、500、100ppm 之下穩定燈數

4. 檢測自然水之亮燈數作比較。

分別取北投圖書館前池水與陽明山區雨水做為檢測樣品，濃度估計結果與操作如【表五】與【圖 31】所示。

【表五】：兩類自然水之檢測結果

自然水樣品	亮燈數	通過電流強度 (A)	通過電壓 (V)	估算電阻 (Ω)	估計濃度 (ppm)
圖書館前池水	10	0.19	13.3	70.00	500~800
陽明山區雨水	5	0.09	13.3	147.78	50~100



【圖 31】左：圖書館前池水　　右：陽明山區雨水

(二)、利用 LM324-LED 即時監測系統(I.M.S.)與各種離子電泳速率之差異，做各種單一離子或混合離子的定性分析

從整體實驗結果分析判讀，我們可以發現，幾乎所有陽離子在蒸餾水中，向負極電泳的過程中，因著速率的差異，而造成亮燈情形均完全不相同。換言之，不論是任何單一離子或是混合離子，均具有其特異性，而此一特異性質恰可提供我們作為定性分析之依據。下面系列，即是七種單一離子的在方式(1)或方式(2)的操作之下，所得到的各種亮燈情形與電解槽中所顯示出的數據。

1. Ni^{2+}的亮燈振盪情形與電阻之變化：(用舊之電源供應器)…註 1

(1) 在十分鐘內無法亮燈，但在第 12 分 37 秒時，向前推至兩電極相距 3cm 處，同時亮起兩顆燈。

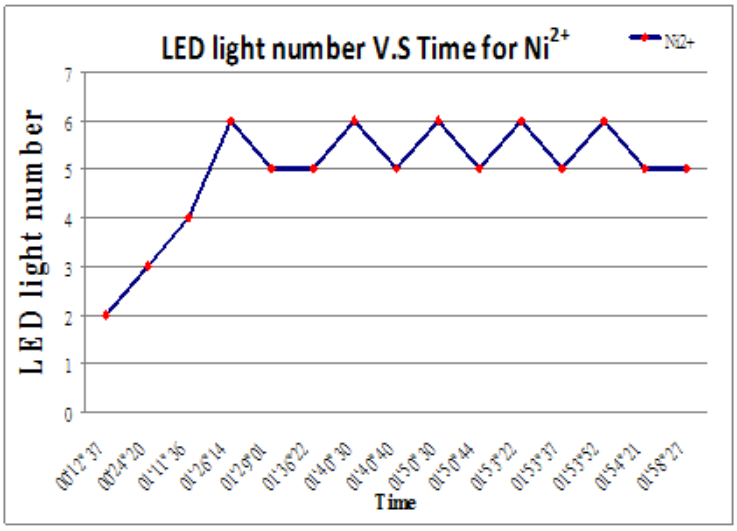
(2) 隨即再將兩電極推至相距 2cm① 處，觀察其亮燈振盪情形約 1~2 小時，大致上是呈現 5 顆與 6 顆之間在震盪，見【表六】【圖 32】

(3) 同上，若是觀察其電阻的變化，則發現依然是呈現上下某種幅度的震盪情形，見【表七】【圖 33】。

【註】：①自製的壓克力電解長形槽，兩電極的最近距離為 2cm。

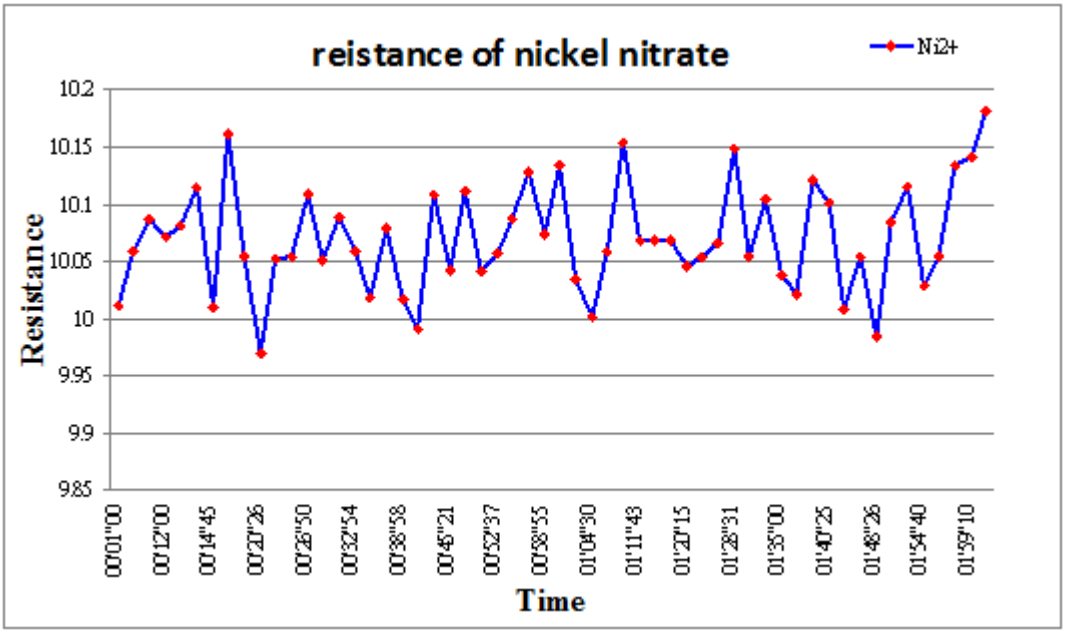
【表六】Ni^{2+}離子向負極電泳時亮燈數震盪記錄

Time	Ni^{2+} 亮燈數	白金片距離(cm)
00'12"37	2	3
00'24"20	3	2
01'11"36	4	2
01'26"14	6	2
01'29"01	5	2
01'36"22	5	2
01'40"30	6	2
01'40"40	5	2
01'50"30	6	2
01'50"44	5	2
01'53"22	6	2
01'53"37	5	2
01'53"52	6	2
01'54"21	5	2
01'58"27	5	2



【圖 32】Ni^{2+}離子向負極電泳時亮燈數震盪圖形

註 1:因先前用之電源供應器為上次的簡易型，後來經測試其電壓不穩，並轉至 9V 卻顯示 13.3V，造成困擾，所以後來用新之電源供應器時我們已用 13.3V 當作基準，有用此舊電源供應器者有 Ni^{2+}、Cu^{2+}、Pb^{2+}。這幾種離子需要重新檢測!



【圖 33】Ni^{2+}離子向負極電泳時電阻的振盪頻率圖形

【表七】Ni^{2+}在不同時間的各項電流、電壓與電阻的變化部分數據

時間	通過電流強度(mA)	通過電壓大小(V)	電阻大小($\times 10^2\Omega$)	時間	通過電流強度(mA)	通過電壓大小(V)	電阻大小($\times 10^2\Omega$)
00'01"00	1.24	12.415	10.012	00'54"13	1.00	10.087	10.087
00'05"00	1.26	12.674	10.059	00'58"55	1.05	10.578	10.074
00'10"00	1.26	12.71	10.087	01"03"00	1.25	12.543	10.034
00'12"00	1.17	11.783	10.071	01'06"00	1.27	12.676	9.981
00'14"45	1.16	11.612	10.010	01'16"08	1.15	11.578	10.068
00'18"26	1.13	11.361	10.054	01'28"31	1.08	10.96	10.148
00'20"26	1.13	11.266	9.970	01'30"04	1.09	10.959	10.054
00'21"45	1.12	11.259	10.053	01'33"33	1.06	10.71	10.104
00'28"24	1.09	10.956	10.051	01'35"00	1.07	10.742	10.039
00'31"51	1.08	10.896	10.089	01'45"22	1.02	10.255	10.054
00'34"51	1.07	10.719	10.018	01'48"26	1.02	10.185	9.985
00'40"55	1.06	10.59	9.991	01'50"47	0.99	9.983	10.084
00'47"30	1.01	10.212	10.111	01'59"10	1.04	10.547	10.141
00'49"32	1.00	10.041	10.041	02'00"09	1.04	10.588	10.181

2. Zn^{2+}的亮燈振盪情形與電阻之變化：

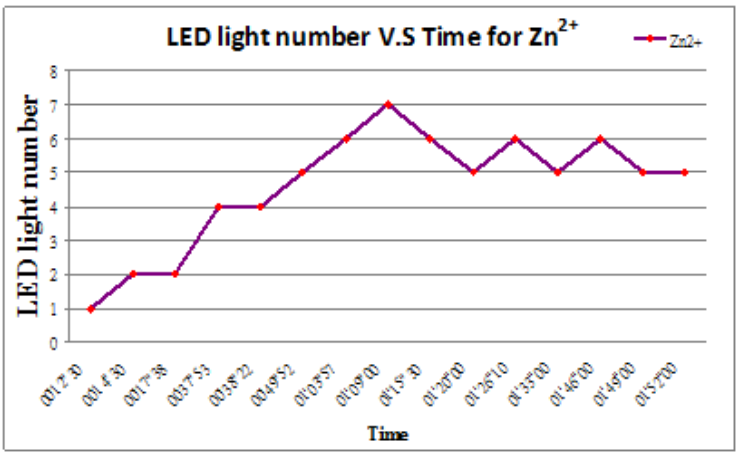
(1) 在十分鐘內仍無法亮燈，但在第 12 分 30 秒時，向前推至兩電極相距 6.5cm 時便可亮起第一顆燈。

(2) 再兩分鐘將兩電極推至相距 3cm，又亮起第二顆燈，最後將兩電極推至相距 2cm 處，觀察其亮燈振盪情行約 1~2 小時，大致上也是呈現振盪情形，見【表八】【圖 34】。

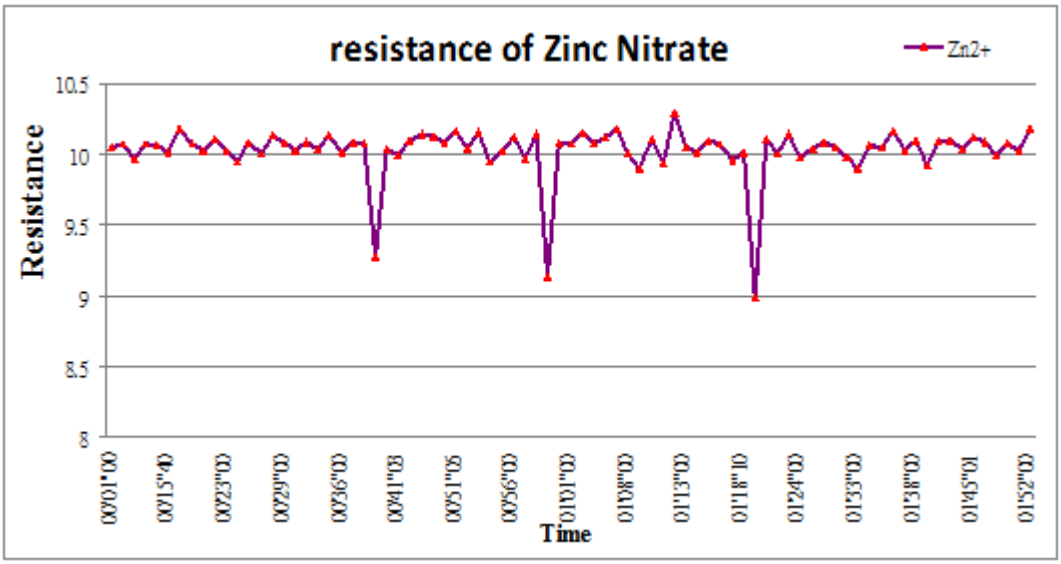
(3) 同上，觀察其電阻變化，則依然也是呈現上下某種幅度的震盪情形，見【表九】【圖 35】。

【表八】Zn^{2+}離子向負極電泳時亮燈數震盪記錄

Time	Ni^{2+} 亮燈數	白金片距離(cm)
00'12"30	1	6.5
00'14"30	2	3
00'17"38	2	2
00'37"53	4	2
00'38"22	4	2
00'49"52	5	2
01'03"57	6	2
01'09"00	7	2
01'15"30	6	2
01'20"00	5	2
01'26"10	6	2
01'33"00	5	2
01'46"00	6	2
01'49"00	5	2
01'52"00	5	2



【圖 34】Zn^{2+}離子向負極電泳時亮燈數震盪圖形



【圖 35】Zi^{2+}離子向負極電泳時電阻的震盪頻率圖形

【表九】Zn^{2+}在不同時間的各項電流、電壓與電阻的變化部分數據

時間	通過電流強度(mA)	通過電壓大小(V)	電阻大小($\times 10^2\Omega$)	時間	通過電流強度(mA)	通過電壓大小(V)	電阻大小($\times 10^2\Omega$)
00'01"00	1.27	12.759	10.046	00'57"15	0.88	8.773	9.969
00'05"00	1.28	12.899	10.077	00'58"00	0.86	8.724	10.144
00'10"00	1.29	12.856	9.966	**00'59''00**	**0.96**	**8.767**	**9.132**
00'12"01	1.23	12.385	10.069	01'00"00	0.94	9.469	10.073
00'14"11	1.16	11.665	10.056	01'09"01	0.79	7.816	9.894
00'24"00	1.15	11.439	9.947	01'10"10	0.78	7.88	10.103
00'25"00	1.14	11.502	10.089	01'17"10	0.93	9.263	9.96
00'37"00	1.01	10.184	10.083	**01'19''00**	**0.9**	**8.09**	**8.989**
00'39''00	**0.98**	**9.0839**	9.269	01'20"00	0.79	7.983	10.105
00'40"00	0.95	9.536	10.038	01'26"10	0.88	8.833	10.038
00'41"03	0.97	9.686	9.986	01'33"00	0.83	8.212	9.894
00'47"05	0.97	9.788	10.091	01'46"00	0.82	8.27	10.085
00'50"05	0.91	9.178	10.086	01'49"00	0.86	8.659	10.069
00'56"00	0.9	9.11	10.122	01'52"00	0.83	8.444	10.173

3. Cu^{2+}的亮燈振盪情形與電阻之變化：

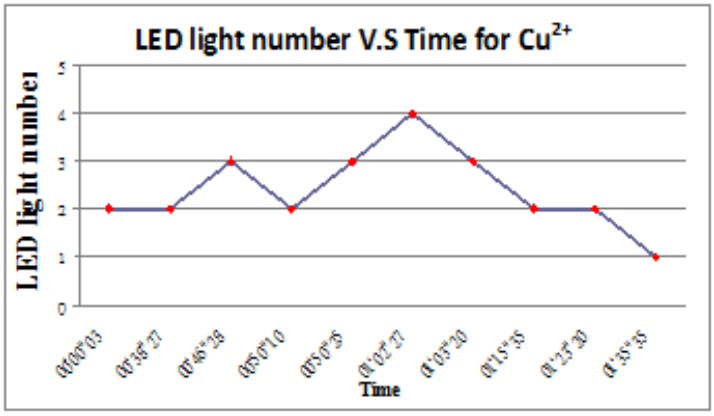
(1) 與前兩種差別在於，銅離子幾乎是瞬間亮 2 顆燈，但一直維持 10 分鐘，之後向前推至兩電極相距 2.0cm 時，依然維持 2 顆燈，直至第 46 分 28 秒時才亮第 3 顆。

(2) 之後再觀察至第 65 分鐘後結束，其亮燈初略振盪，之後呈漸減，見【表十】【圖 36】。

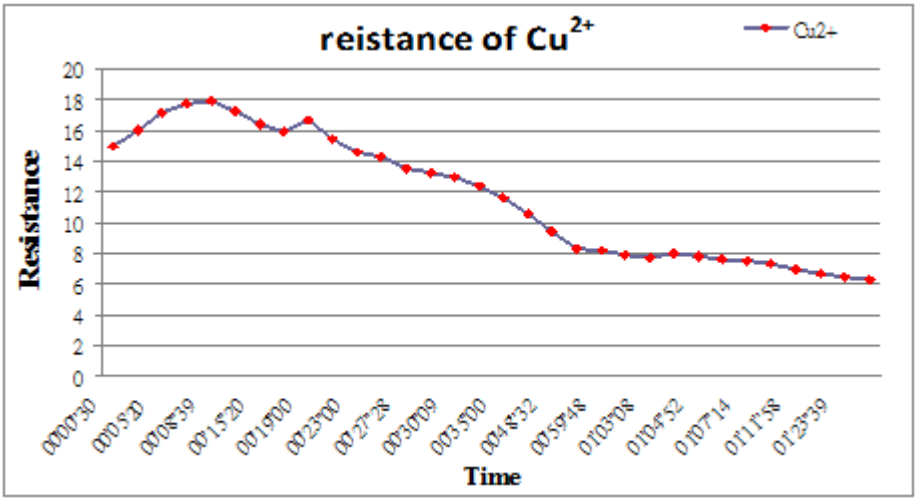
(3) 同上，觀察其電阻變化，則依然也是呈現上下某種幅度的震盪情形，見【表十一】【圖 37】。

【表十】 Cu^{2+}離子向負極電泳時亮燈數趨勢記錄

Time	Ni^{2+} 亮燈數	白金片距離(cm)
00'12"30	1	6.5
00'14"30	2	3
00'17"38	2	2
00'37"53	4	2
00'38"22	4	2
00'49"52	5	2
01'03"57	6	2
01'09"00	7	2
01'15"30	6	2
01'20"00	5	2
01'26"10	6	2
01'33"00	5	2
01'46"00	6	2
01'49"00	5	2
01'52"00	5	2



【圖 36】Cu^{2+}離子向負極電泳時亮燈數趨勢圖形

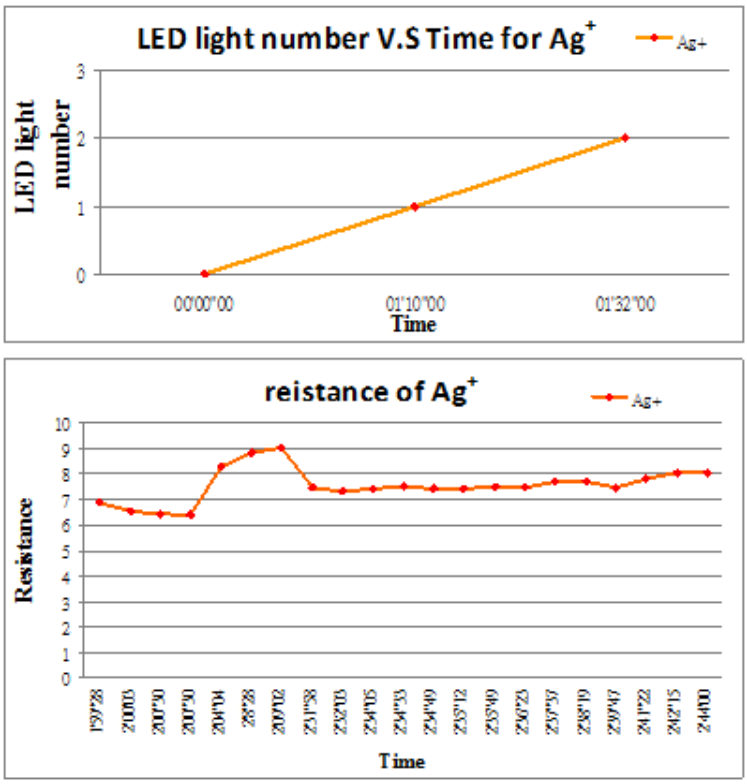


【圖 37】Cu^{2+}離子向負極電泳時電阻的震盪頻率圖形

【表十一】Cu^{2+}在不同時間的各項電流、電壓與電阻的變化部分數據

時間	通過電流強度(mA)	通過電壓大小(V)	電阻大小 ($\times 10^2\Omega$)	時間	通過電流強度(mA)	通過電壓大小(V)	電阻大小 ($\times 10^2\Omega$)
00'00"10	0.801	11.972	14.946	00'35"00	1.015	11.795	11.621
00'03"30	0.750	12.006	16.008	00'40"40	1.107	11.688	10.558
00'05'20	0.722	12.397	17.170	00'48"32	1.235	11.678	9.456
00'08"39	0.692	12.418	17.945	00'57"50	1.375	11.435	8.316
00'13"00	0.720	12.400	17.222	00'59"48	1.403	11.464	8.171
00'15"20	0.750	12.297	16.396	01'02"42	1.454	11.494	7.905
00'17"20	0.764	12.176	15.937	01'03"08	1.491	11.472	7.694
00'19"00	0.779	12.000	16.624	01'03"47	1.447	11.512	7.956
00'20"42	0.785	12.107	15.423	01'04"52	1.478	11.474	7.763
00'24'38	0.841	12.007	14.277	01'08"24	1.532	11.301	7.377
00'27"28	0.880	11.929	13.556	01'11"58	1.607	11.194	6.966
00'28"32	0.904	11.999	13.273	01'17"24	1.664	11.132	6.69
00'30"09	0.927	11.972	12.915	01'19"39	1.71	11.081	6.48
00'31"53	0.955	11.856	12.415	01'22"52	1.759	11.039	6.276

4. Ag^+亮燈振盪情形與電阻之變化：【圖 38】

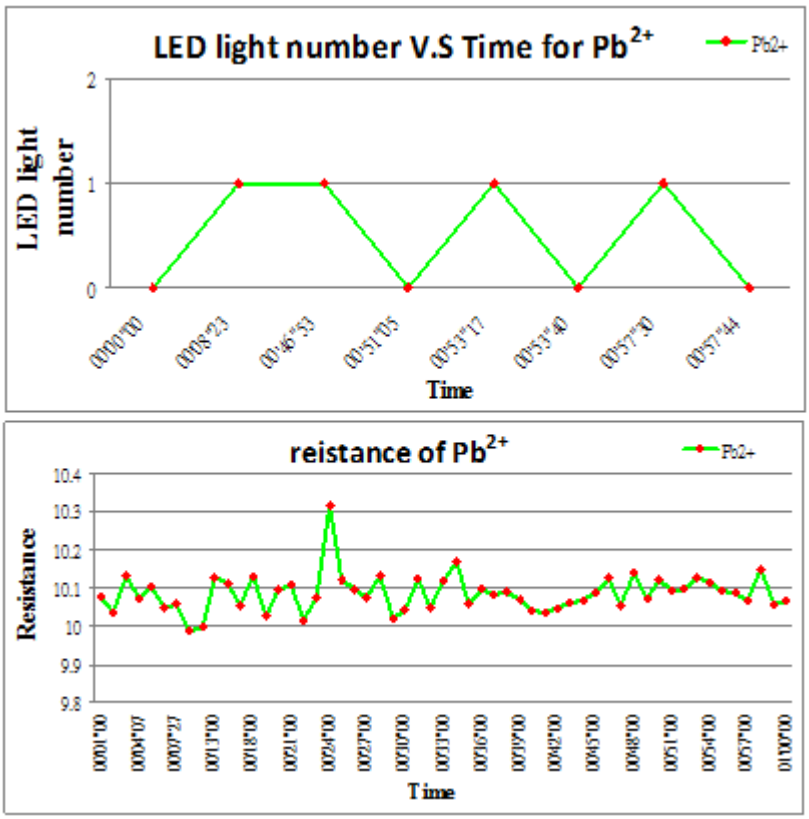


【圖 38】Ag^+離子亮燈震盪與電阻變化情形

(1) Ag^{+}不但在 10 分鐘內無亮燈，它甚至在電極相距 2cm 處，尚需 70 分種才能亮起第一顆燈。

(2) 根據以上事實，我們推測 Ag^{+}在蒸餾水中對負極的電泳速度是相對比其他離子慢得多。

5. Pb^{+2} 亮燈振盪情形與電阻之變化：【圖 39】



【圖 39】Pb^{2+} 離子亮燈震盪與電阻變化情形

(1) Pb^{2+}大約在 8 分 23 秒時亮第一顆燈，此時兩極相距 10cm，即是它的電阻值處於相對較低的位置。

(2) 根據【圖 39】，互相比較發現 Pb^{2+}在蒸餾水中對負極的電泳速度是呈現比 Ag+相對穩定且較為快速的，但似乎仍比 Ni2+、Zn2+、Cu2+離子慢得多。

6. 取相同總濃度 1000ppm，且體積均為 5ml 的下列六組不同離子：

(1) Hg2+、

(2) Cd2+、

(3) Hg2++Cd2+、

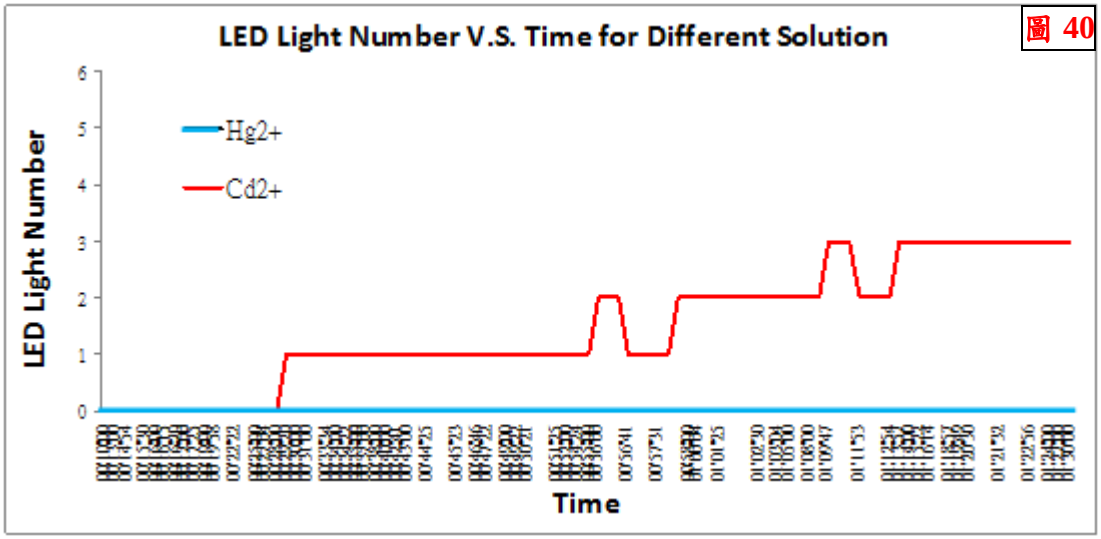
(4) Zn2++Cu2+、

(5) Cu2++Ni2++Pb2+、

(6) Ag++Zn2++Pb2+

以【圖 14】的方式注射到蒸餾水 200ml 長形反應槽中，且讓兩極維持在 3cm 處，並約每分鐘記錄一次亮燈情形，六組相互比較結果見【圖 40】【圖 41】【圖 42】所示。

綜合比較如【圖 43】。 多離子操作情形如【圖 44】所示



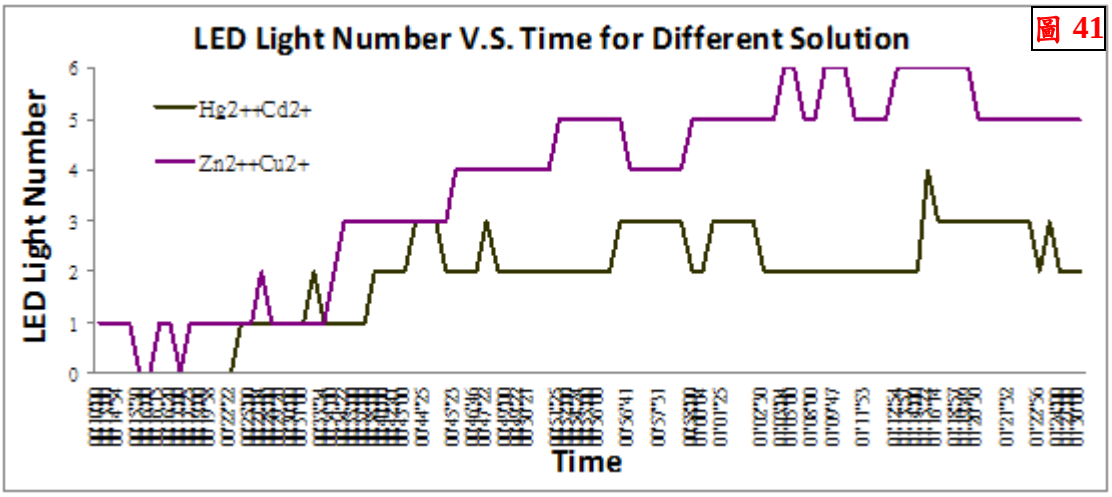


圖 41
LED Light Number V.S. Time for Different Solution
LED Light Number
Hg2++Cd2+
Zn2++Cu2+
Time

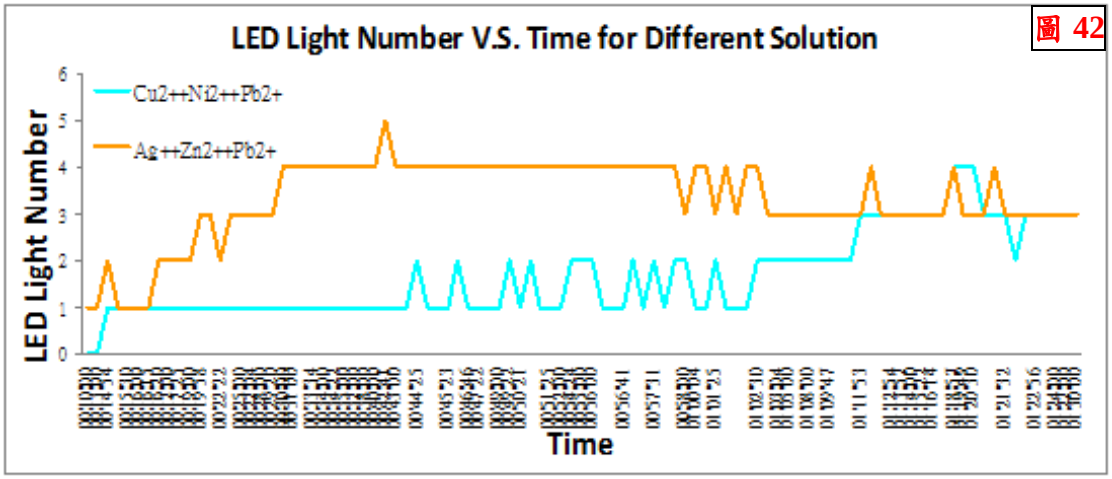


圖 42
LED Light Number V.S. Time for Different Solution
LED Light Number
Cu2++Ni2++Pb2+
Ag++Zn2++Pb2+
Time

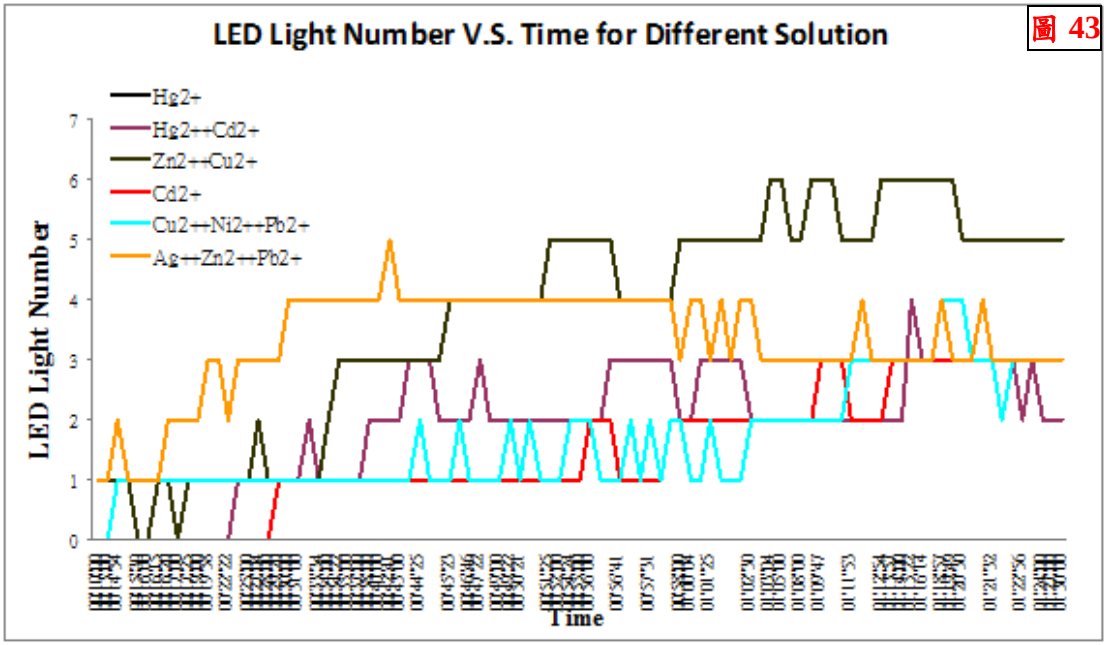


圖 43
LED Light Number V.S. Time for Different Solution
LED Light Number
Hg2+
Hg2++Cd2+
Zn2++Cu2+
Cd2+
Cu2++Ni2++Pb2+
Ag++Zn2++Pb2+
Time

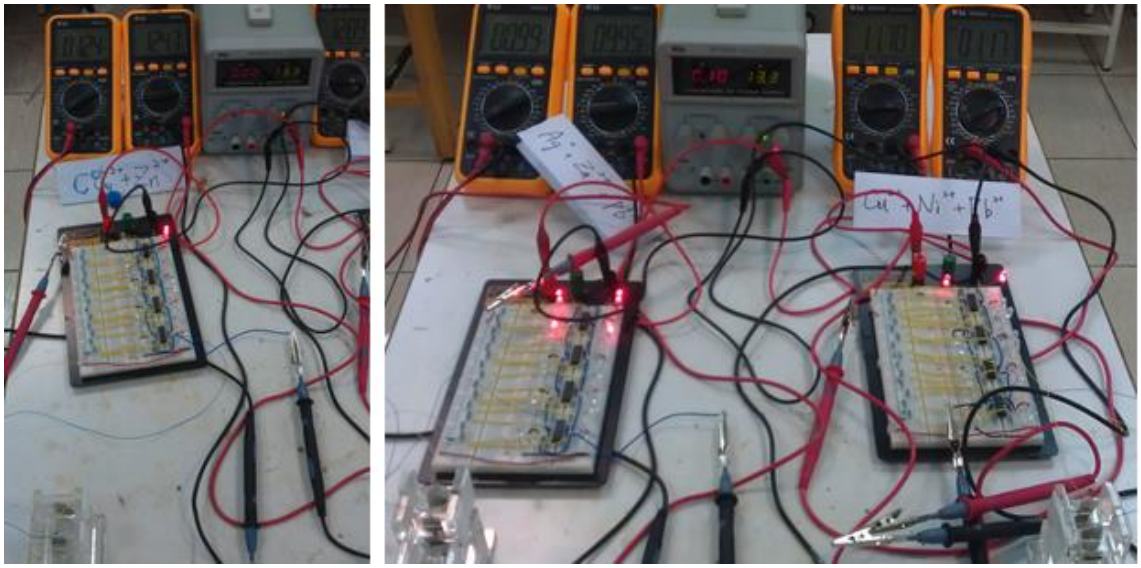


圖 44　多離子操作情形

(三)、土壤中重金屬之定量與定性分析模擬結果：

由於近來後勁溪鎳離子污染事件， 我們又用土壤遭到鎳離子污染做了一個簡單的實驗來驗證我們的方法。首先， 將花盆內土壤以含 Ni^{2+}離子 1000 ppm 的水溶液潤濕。

1. 取出已被 Ni^{2+}離子汙染的模擬樣品土壤約 100 公克置入盆中，加入蒸餾水 100ml 如【圖 45】所示，以方便檢測。

2. 以 I.M.S.檢測，確定燈數超過天然土壤的兩顆，如【圖 46】所示為亮燈數 7 顆，若實驗結果中的【表一】或【圖 24】對照，我們可以推測此刻土壤所顯示出來的離子總濃度約是 300~400ppm。

3. 為取得足夠之澄清液，再加入自來水或蒸餾水 100ml，靜置數分鐘後使其自然沉澱，以滴管與針筒分別取出濾液約 20ml 與 5ml，做上述定量與定性之檢測，其結果數據，如【圖 47】與【圖 48】所示。

4. 將上述結果與已製得之數據資料表一與【圖 32】【圖 33】比較，判定土壤中金屬種類與濃度。

圖 45 模擬樣品土壤

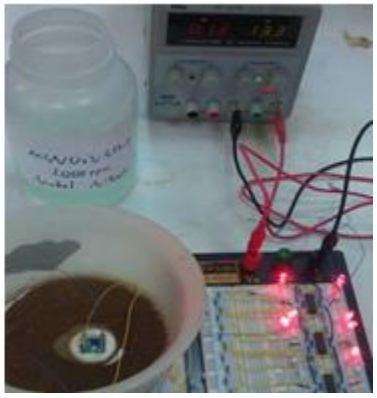


圖 46 模擬樣品土壤亮燈數

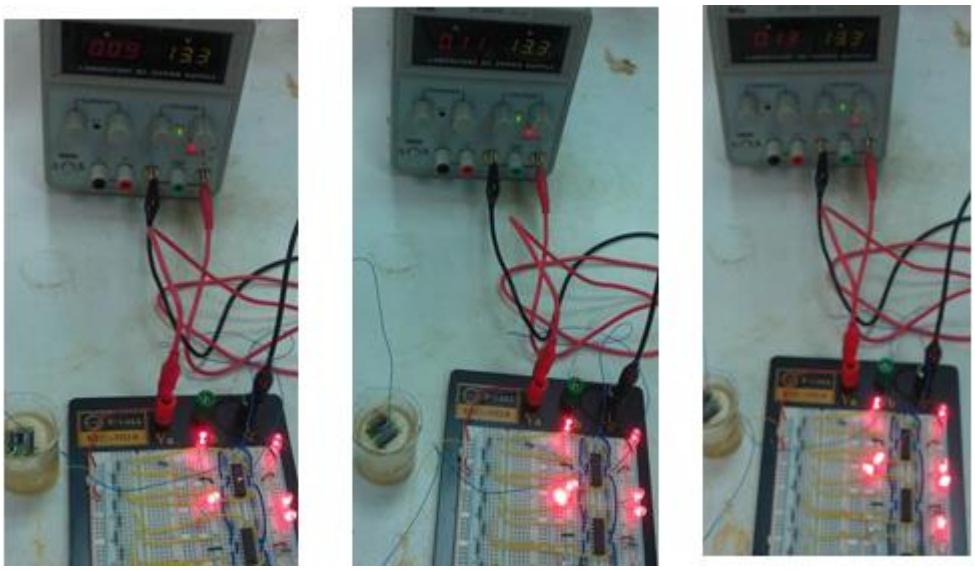


圖 47 樣品濾液在十分鐘之內亮燈數由 5 增至 7 顆

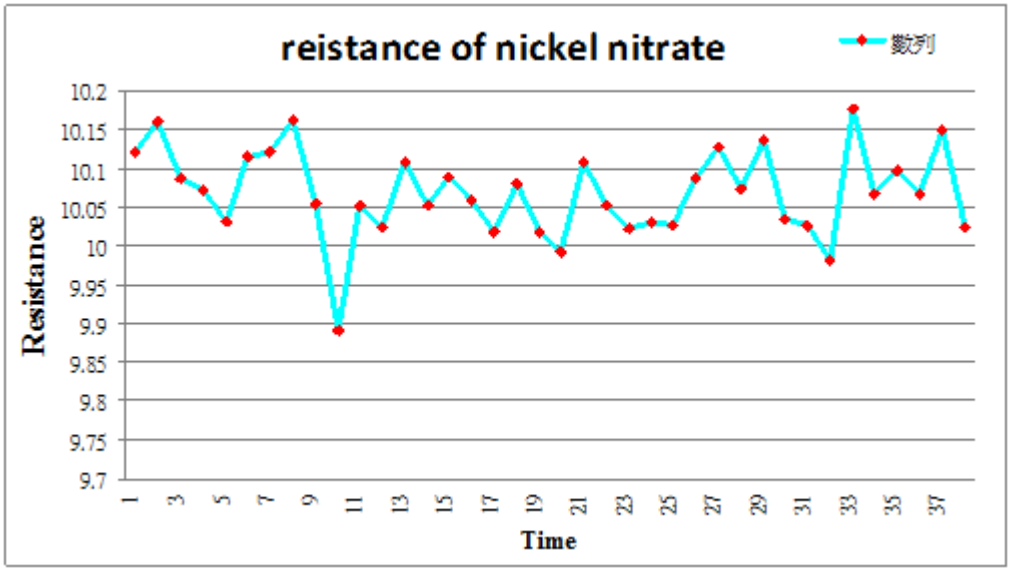
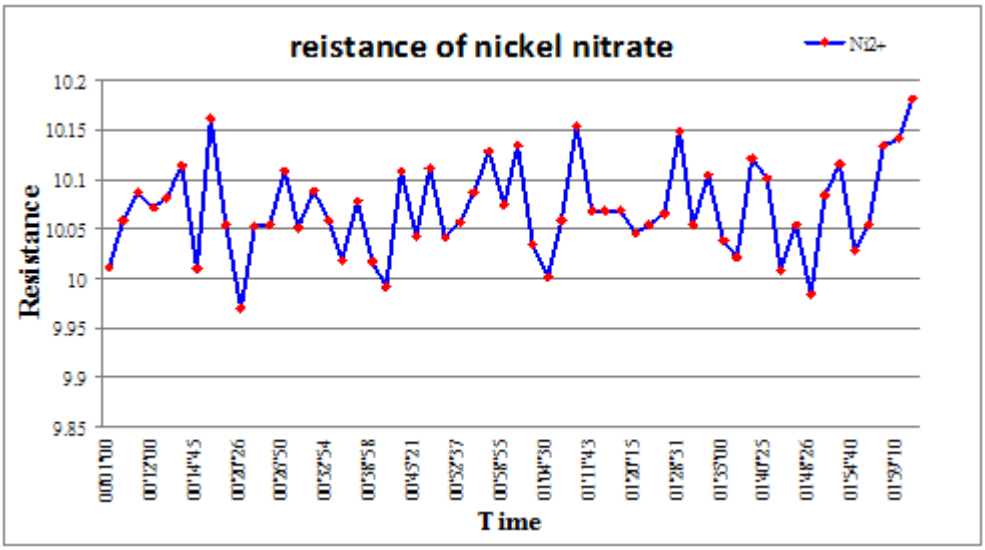


圖 48 含 Ni^{2+}樣品濾液通電時電阻的震盪頻率圖形



【圖 33】Ni^{2+}離子向負極電泳時電阻的震盪頻率圖形

實驗結果說明與討論：

1. 從【圖 47】可發現，土壤的離子濃度偵測實驗中，測得本組所設計的 I.M.S.，每亮一顆 LED 燈所需的供給電壓，是呈現很穩定的增加 20mA，即亮燈數由 5 增至 7 顆，供給電壓分別是 0.09、0.11、0.13mA。

2. 雖然【圖 48】與【圖 33】的圖形並非完全的吻合，但我們認為，這其實是因為圖壤本就存在有其他不同離子(例如 K^{+}、Ca^{2+}等)，因此自然會受其影響，而造成與純 Ni^{2+}的定性檢測圖形有所差異。

(四)、 討論

1. 從濃度與燈數變化圖對照電阻變化與時間的關係圖討論。

   由結果對照，可以發現兩者是相當吻合的的！換言之，利用 I.M.S.作為重金屬濃度的判斷是相當可行且是十分準確的。原因說明如下：

   依據下【圖 49】說明。我們可以將電解槽視為一可變電阻 Rx，則當水溶液中：

(1)離子濃度改變；或是(2)種類改變，抑或是(3)離子電泳速率差異等，均會造成兩電極之間的電阻增減變化。換言之，當以上這些因素，造成可變電阻Rx電阻下降時，此刻整個電路的總電阻必然下降，但因V=IR，在總V不變(輸出恆為13.3或6V)之下，Rx下降則造成電流I的上升，也就會使得圖中output端的電壓上升，也就是實驗中所得的V數據下降越多，此時13.3-V值輸出電壓就越大，也就造成輸入LM324 IC電路中的總電功(P=IV)越大，又根據【圖50】：LM324 運算放大器組合電路圖，LED亮燈亮越多，則所需輸出總電流也必然越大，此點又完全與我們的實驗數據吻合。

補充說明：

由於實驗過程中我們是以少量(5ml)的樣品，打入大量的蒸餾水200ml中，作為模擬操作，所以雖然每個離子都一樣，但也都處於相當低的情形之下，如此在長時間的通電電解時，最後都會因為離子總數急速下降，而呈現亮燈數急速下降的情形！這種現象對於電泳速率較快的銅離子，尤為明顯！因此我們必須將此因素考慮進去後，方能符合上述(一)的討論

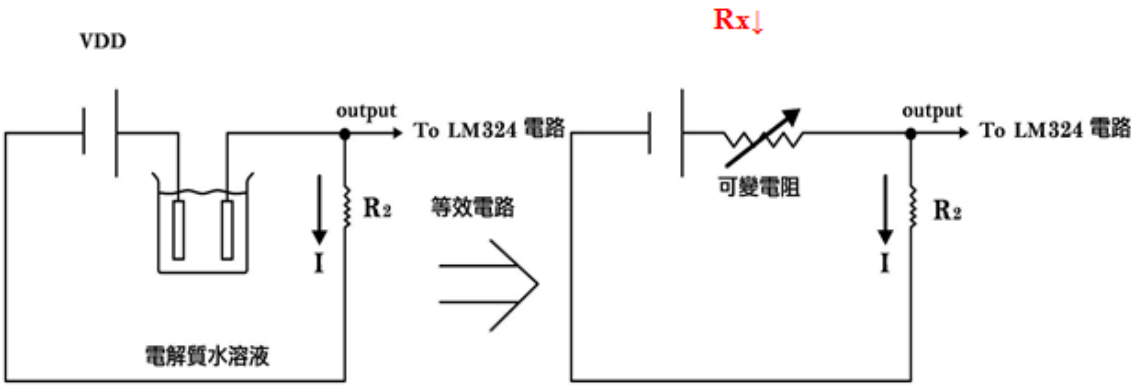


圖 49　Zn^{2+}等效電路圖

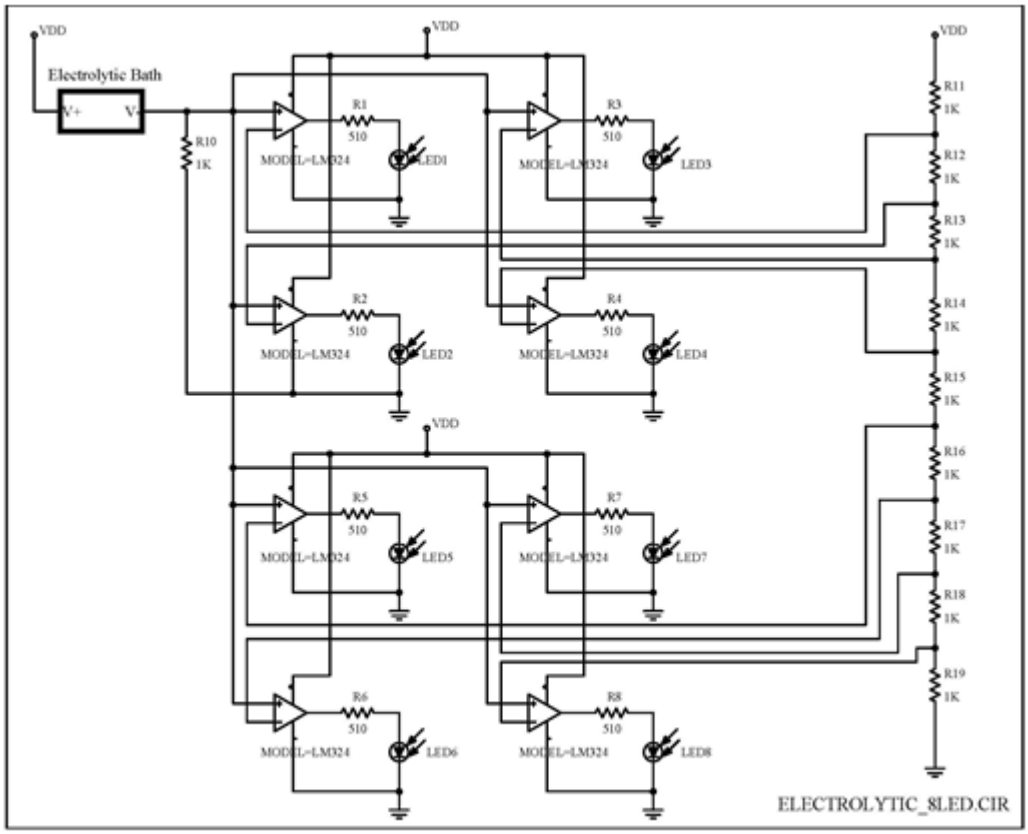


圖 50 : LM324 運算放大器組合電路圖

2. 不同離子組成在定量濃度與 I.M.S.亮燈數多寡的關係之分析討論：

從實驗【圖 24】【圖 27】【圖 29】中，我們發現電解質水溶液中的依數性關係，其實是有條件的，單就亮燈的數量即可看出，七種不同的單一離子，在一系列相同的濃度下，它們的亮燈總數竟沒有任何兩個是完全一樣的。再者，五組雙離子與三組三離子混合溶液，也是沒有任何兩組燈數是完全一樣的。甚至，就汞離子而言，它在高濃度的情形之下，所造成的亮燈數，竟乎完全都比其他六種離子在低濃度之下的燈數還低。也就是說，兩溶液在亮燈數相同之下，此刻溶液電導度是相同的，但卻不一定代表此電解質溶液的濃度是相同的，換言之，電解質溶液的電導度、電阻等物理性質仍然會受其所含的離子種類影響，我們僅能說：『電解質的導電度或電阻，會隨其離子濃度的增加而呈正向或反向的改變，但不能說與其種類無關』！

3. 從定性與定量的結果探討電解質，其具有獨特性、專一性的原因。

誠如與【圖 48】【圖 33】的圖形並非完全的吻合，或是從【圖 24】【圖 27】【圖 29】或一系列的數據也可看出，當濃度均相同的情形之下，但電解質的組成不同時，它們所顯示出來的性質，無論是亮燈數、定性亮燈振盪圖表或是電阻變化圖表，其實都是非常的獨特性而幾乎沒有特別的原理可以解釋！

我們認為其原因可能如下：

除了單一離子其在水中的各種性質絕對是固定之外，只要有其他離子的存在，則其顯示出來的各種性質，就不再像是任何單一離子的特性了，推測其最大的可能因素是，電解質內部性質發生重大的改變了，例如：

(1) 離子間的排斥力改變。

(2) 不同水合離子的產生，造成整體電泳速度的改變。

(3) 水溶液中因總電荷數的改變而造成溶液電荷密度的改變。

4. 在離子定性實驗中，三用電表對各電解質電流與電壓的測量是否準確的探討。

(1) 由於本組在起初的實驗設計中，希望可利用不同種類的重金屬離子電解質會有不同的電泳速率，會造成電解質溶液的導電度(隨時間)不同，而利用本實驗所設計的 I.M.S.，顯出亮燈數的多寡或是振盪情形的不同測量其導電度，因而可以輕易的檢測出重金屬的污染量與種類。

(2) 因著在這種不確定之下，所以本組為了收集在通電的過程中，各種電流與電壓的 變化，故採取了分別串連與並聯，以求精準的測得電流與電壓變化，再換算期間的電阻變化。同時為了檢驗，所測出的

數據是否準確，我們額外以惠司登電橋檢測並做比較如下，獲知結果幾乎是完全吻合。

a. 作法與裝置，見前【圖 18】與【圖 19】所示。

b. 待測物體電阻＝長度比值(待測物電阻長度/可變電阻長度)× 可變電阻值又待測物電阻長度＋可變電阻長度＝100cm

c. 在三個時間間隔很短的不同時間之下，分別測得三個精準值如下：

(a) 54.5/45.5 × 321 =384.5Ω；

(b) 55.5/44.5 × 310 =386.6Ω；

(c) 54/46 × 330 =387.4Ω

d. 接上 LM324 電路(I.M.S.)時，所測得水溶液的電壓和電流分別是 1.08V 與 2.8mA 故求得此水溶液的電阻：(1.08/2.8) ×1000=385.7Ω

e. 由 c.與 d.之間的數據得知，本實驗所測得的電壓、電流和電阻，都是非常精準的，故可以推論本組所做的實驗測量數據幾乎都是準確可使用的。

5. Hg^{2+}的幾種特殊現象討論與特別檢驗方式之設計。

(1) 就定量檢測而言，我們發現有幾項較為特殊的現象如下，我們認為也可以此特殊現象， 作為 Hg^{2+}定性的判定輔助：見下【表十二】與【圖 51】

a. 單獨的 Hg^{2+}在低濃度是幾乎不亮燈或燈數極低。

b. 在高濃度它也只能亮 2~4 顆。

c. 當 Hg^{2+}與(Ag^{+}+Cd^{2+})離子混合時，則便會受燈數較多的 Cd^{2+}影響而出現大幅的提升，但有趣的是，隨著混合液中的濃度降為三分之一，亮燈數也幾乎降為三分之一。換言之，混合液體電解質的電導依數性似乎只隨著電導性高的離子(如 Cd^{2+})之濃度有關，而非與總濃度有關！

【表十二】：Hg^{2+}與其他電解質之定量檢測結果比較

Ion	5ppm	10ppm	50ppm	100ppm	500ppm	666ppm	800ppm	1000ppm
Hg^{2+}	0	0	1	1	1	2(1~2)	2(1→2)	4(1→4)
Hg^{2+}+Ag^{+}+Cd^{2+}	0	0	1(0~1)	2(1~2)	4(3~4)	略	6(4~6)	7(6~8)
Ag^{+}	1	1	2	3	7	7	9	10
Cd^{2+}	0	1	4(3~4)	6	12	12(10~12)	12(10~12)	13(11~13)

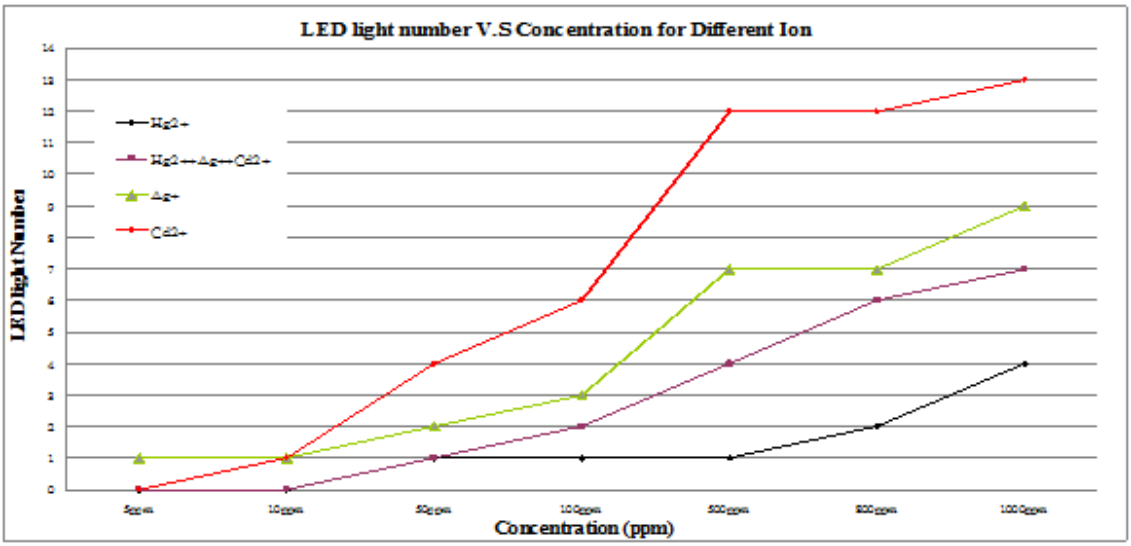


圖 51：Hg^{2+}與其他電解質之亮燈數結果比較

(2) 就定性檢測而言，我們發現 Hg^{2+} 在對蒸餾水的電泳中，可說是效果最差，或可說是七種離子中可能是速率最慢的，因此似乎是以 I.M.S. 完全測不出來，見下【圖 52】所示。 但慶幸的是，我們可以利用添加其他高電導度離子，如 Cd^{2+}，來改變其電泳速率，以便檢測出是否含有 Hg^{2+} 離子

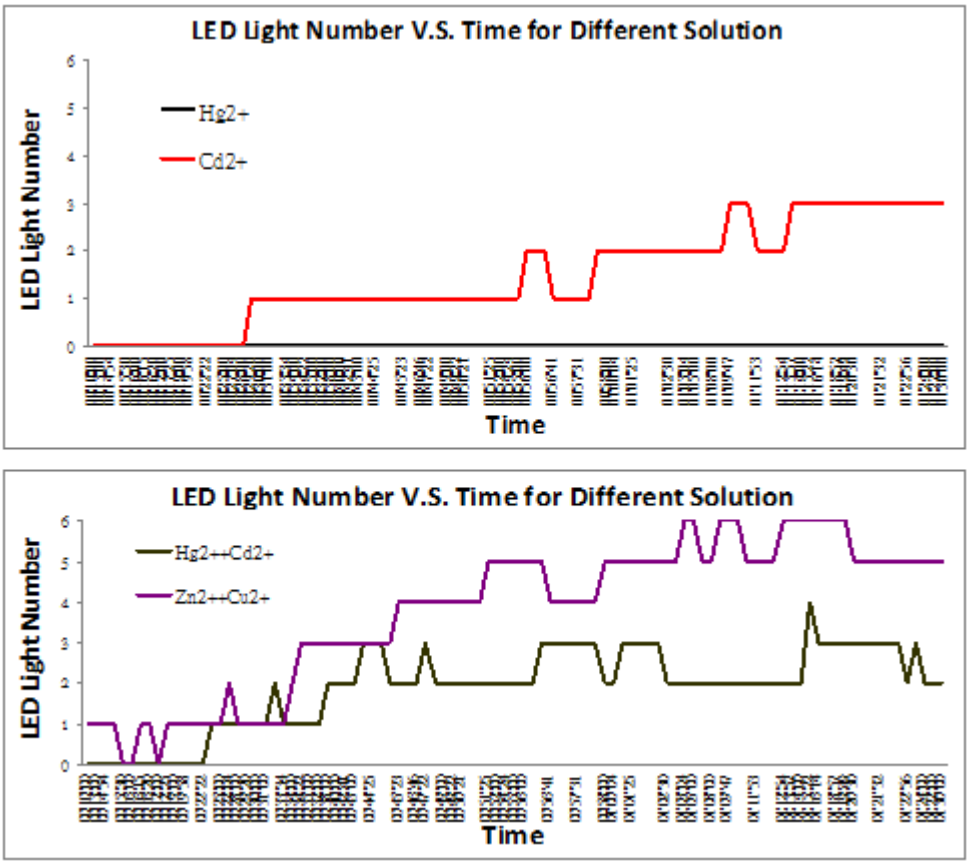


圖 52：Hg^{2+} 與其他電解質之定性檢測結果比較

6. 離子濃度定量測定結果在定性判定上的應用討論。

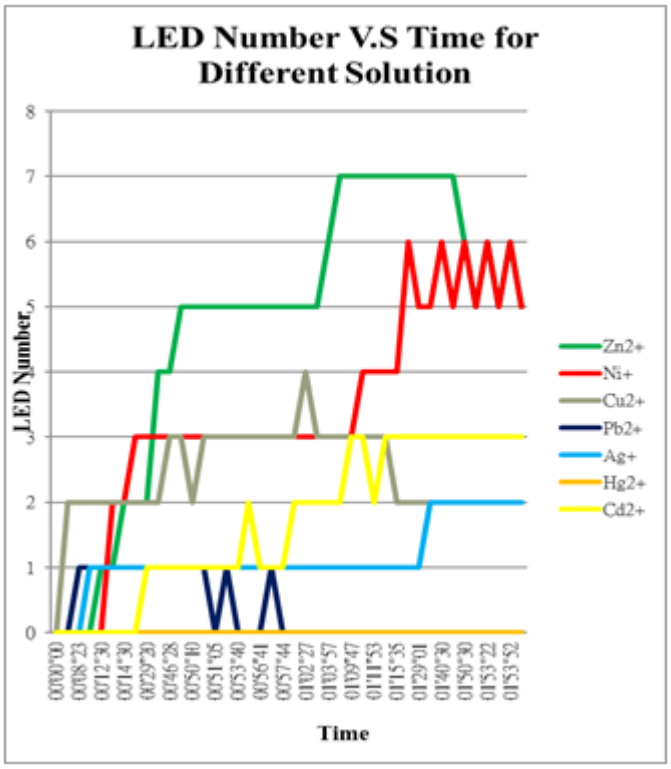
誠如上述五的討論，對於某些無法立即以 I.M.S.完全測出來的離子如 Hg^{2+}，我們是可以利用濃度定量檢測結果，作為定性的判定輔助。

7. 從 I.M.S.實際應用與性質，探討對電解質水溶液中，各種離子電泳或導電性質的實驗檢測改進方式。

(1) 從整體的實驗結果或最後的討論，我們發現以往在教科書上實驗離子電泳的判定所出現的盲點：

幾乎所有的電泳檢測方式，為了讓肉眼可以觀察到，幾乎都是使用洋菜凍方式，即是將待測的離子加入洋菜粉中。然而我們從實驗得知，個別離子的電導行為其實是受到其他離子有很大的影響，因此當為了肉眼可以觀察得到時，此刻所測出的電泳速率，就並非是真正的該離子的電泳速率，因洋菜粉中已含有其他之離子，而與加入離子發生影響了，Hg^{2+}離子現象就是最好的證明了。然而，本組的研究則可以完全避開此項盲點。

(2) 依據由 I.M.S.所得到的亮燈與時間的關係圖形【圖 53】， 我們可以看出各離子電泳速率的比較。



【圖 53】：7 種離子 LED 亮燈時間關係圖

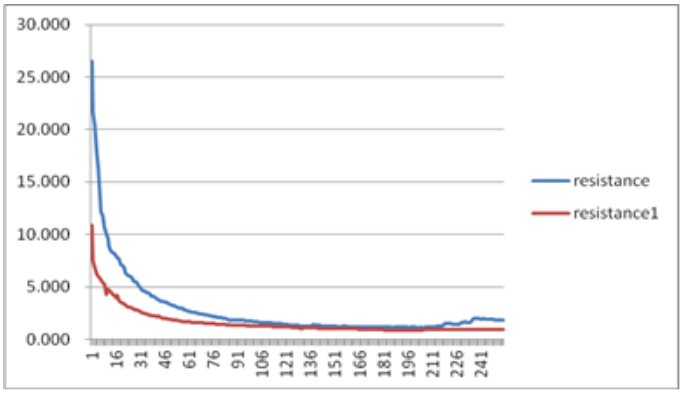
8. I.M.S.在平時土壤乾燥的情況下，是不會顯示亮燈的情形。當工廠在排放廢水或下雨時 LED 就會亮燈。而排放水內離子濃度愈高， LED 亮

燈數就愈多。如果工廠否認排放，或說排放是由其它因素(如雨水)造成，可取出電極棒，由於氧化還原反應， 如果廢水內含有重金屬離子，重金屬會被還原在陰極上，此現象可由下圖清楚看出 右邊是沒有金屬沉澱的碳棒，而左邊是有重金屬沉澱的碳棒，如此便可輕易的證明，工廠排放的廢水內含有重金屬離子。

有金屬沉積物　　無沉積物
(廢水內含重金屬離子)

9. 不同濃度硝酸銅亮燈數與電阻的測定。

由於上回測量硝酸銅 LED 亮燈數及電壓與電流時，使用的電源供應器不準確。月考結束後我們又做了 **1000 ppm** 與 **500 ppm** 硝酸銅溶液的測量。這次我們使用的是準確的電源供應器。實驗結果如下圖(電阻對時間)所示， 兩種濃度下的圖型是十分相似的。這又證明我們設計的方法是可行的，即不同濃度的重金屬離子水溶液的圖型相似。



四、 結論與運用

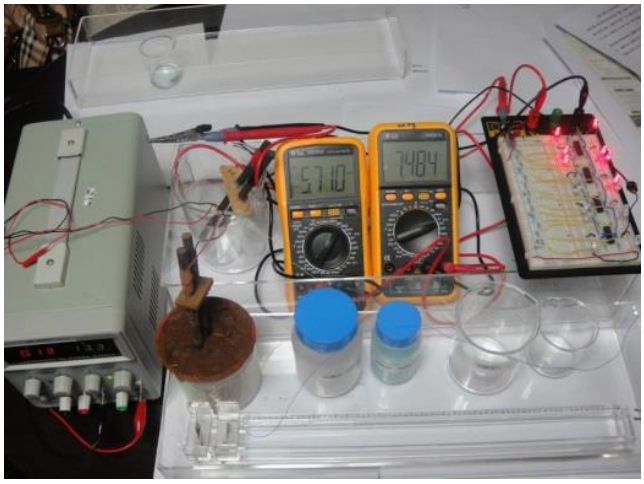
(一) 本研究延續偵測土壤汙染的即時警示系統，更進一步的由更多的實驗得到大量的數據，可以做為重金屬汙染物濃度與種類的定性分析的依據。

我們可以利用 I.M.S.亮燈數，立即顯示土壤與水源內的重金屬離子變化及濃度；而利用比對 I.M.S.亮燈與電阻的振盪圖形，則可以判別出重金屬汙染物的種類。由於單一工廠內排放的主要重金屬離子可能只有 1-2 種，在做比對時並不會太過複雜。

(二) 我們的首要之務是建立大量的各種重金屬離子的 I.M.S.的亮燈與電阻振盪數據與圖形。並依據這些數據建立資料庫，我們覺得若要找出重金屬污染的總量與種類，其實可以不必探討離子的各種性質，而只要收集或建立更多的數據，並將其整理成更精準的圖形或表格，輸入電腦並利用電腦的快速運算功能，便能夠很精確的找出重金屬汙染的總量與種類了。

(三) 基於上述的理由，我們認為若要有效的的監測全國各地區重要的水源與農作土壤，則可以充分的利用本研究所設計的「LM324-LED 即時監測系統」(Instant Monitoring System：I.M.S.)，並做到下列的工作。

1. 在各地區工廠附近之家庭，提供廉價且操作簡單的 I.M.S. 如下圖。即是廣設蜂巢式的 I.M.S. 檢測點，定期追蹤該地區土壤之亮燈數。



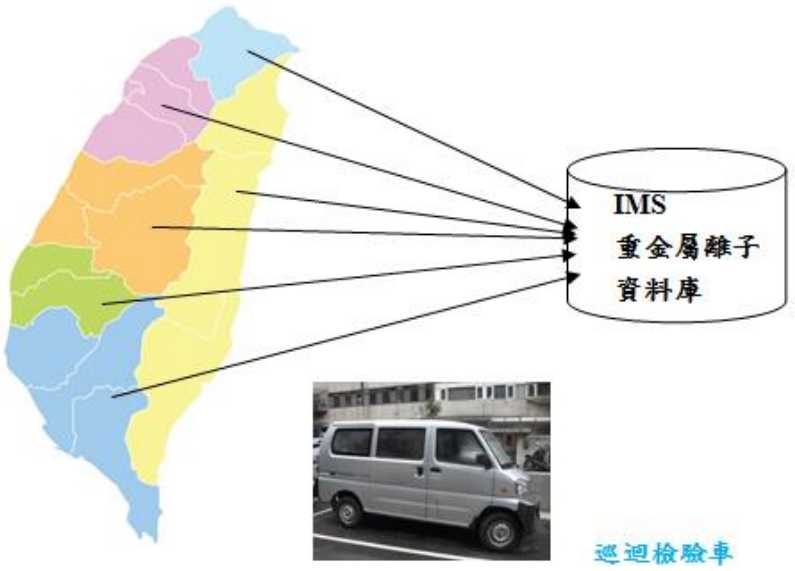
2. 定期檢測並製作該地區之定性檢測圖表，利用資料庫內數據與圖形做隨時之比對， 若發現與長期所收集之圖表有相當比例之誤差，即可判定必有不同金屬離子滲入到土壤內。

3. 預先製作各種不同有毒重金屬與當地水源或土壤混合後之定性圖表，如本實驗之結果，則必能在最短時間內判定出重金屬汙染的種類及濃度。

(四) 非法排放含重金屬離子廢水時立即偵測的重要性。

從過去我們得到的經驗及數據顯示出，當工廠開始排放廢水時， LED 亮燈數會最高，隨著時間的長久，LED 亮燈數會逐漸減少。此乃因重金屬離子逐漸被吸附在土壤內，經過一段時間後，土壤水溶液內重金屬離子降低，電解質濃度恢復到原始狀態，亮燈數回到基本(原始)亮燈數，就無法對工廠排放廢水的事實提證,，所以第一時間顯示與檢測的能力非常的重要！

(五) 當政府在全國重要的水源與農作土壤各區指導並推廣此一簡易的檢測方式，相信必能有效嚇阻非法污染源的排放。當有可能排放含重金屬污染廢水的工廠業者，知道非法排放廢水時，會被立即偵測到，不但廢水內離子的總濃度可以立即的以亮燈數的多寡顯示，即使金屬離子的種類亦有可能被迅速的比對出來，相信這些業者將不敢再做非法的排放。



五、 參考文獻

李佳柔、黃柏源、林家瑜、呂子杰 (2008年) 電電看就知道。中華民國第 48 屆中小學科學展覽會高中組化學科編號040203。4-11頁 取自：

http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/senior/040203.pdf

林國雄、鐘竺均 (2004年) 行政院國家科學委原會專題研究計劃 成果報告“利用生物吸附劑幾丁聚醣移除及回收水溶液內中之銅、鎘、鋅 及 鎳離子: 吸附行為與操作參數的影響。”1-7 頁。

周鎂岑、白旻昇 (2008年) 色彩變變變。中華民國第 48 屆中小學科學展覽會國中組理化科編號031628。4-6頁 取自：

http://acticity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/pdf/031628.pdf

黃彥鈞 (2012年) 離子擴散會來電。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會國中組化學科編號030215。1-24頁 取自：

http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/52/senior/030215.pdf

章日行、蔡明谷、唐政宏 2006年10月17日 行政院國家科學委原會專題研究計劃成果報告“以電化學法復育模廠規模之重金屬污染土壤及快速分析土壤重金屬總濃度之研究。1-12頁

盧儀軒、蔡欣芸、陳貴貞、陳妏瑄 (2010年) 亮不亮，有關係。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會國中組化學科編號030207。20-23頁 取自：

http://acticity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/030207.pdf

謝寧 、許曉玟、林瑜庭 (2011年) 穩定磁場中帶電離子的移動速率。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會高中組化學科編號030112。1-12頁 取自：

http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/030112.pdf

Wikipedia “Electrophoresis” http://en.wikiprdia.org/wiki/Electrophoresis

評語

重金屬於土壤污染的議題是目前極受到矚目的，本作品利用簡易的方法，以 LED 亮燈的方式即可偵測土壤中之重金屬，且建立一套資料庫有助於重金屬種類的判讀，實驗數據完整，具實用性，建議增加科學研究創新性。